

Manejo sitio-específico de un pastizal natural del norte de la provincia de Buenos Aires

*Tesis presentada para optar el título de magister de la Universidad de Buenos Aires,
Área Producción Animal*

Ezequiel Martín Pacente

Ingeniero Agrónomo- Universidad Nacional de Luján – 2011

Especialista en Manejo de Sistemas Pastoriles UBA-EPG- 2015

Lugar de trabajo: INTA -EEA Pergamino



Escuela para Graduados Ing. Agr. Alberto Soriano
Facultad de Agronomía – Facultad de Ciencias Veterinarias
Universidad de Buenos Aires

COMITÉ CONSEJERO

Director de tesis

Adriana Mabel Rodríguez

Ingeniera Agrónoma (Universidad de Buenos Aires)

Magister Scietiae en Recursos Naturales (Universidad de Buenos Aires)

Doctora en Ciencias Agropecuarias (Universidad de Buenos Aires)

Co-director

Oscar Darío Bertín

Ingeniero Agrónomo (Universidad Nacional del Sur)

Magister Scietiae (Universidad Nacional de Mar del Plata)

Consejero de estudio

Jorge Omar Scheneiter

Ingeniero Agrónomo (Universidad de Morón)

Magister Scietiae (Universidad Nacional de Mar del Plata)

JURADO DE TESIS

JURADO

María Semmartin

Ingeniera Agrónoma (Universidad de Buenos Aires)

Magister Scientiae en Recursos Naturales (Universidad de Buenos Aires)

Doctora en Ciencias Agropecuarias (Universidad de Buenos Aires)

JURADO

Jorge Gonzalo Nicolás Irisarri

Ingeniero Agrónomo (Universidad de Buenos Aires)

Magister Scientiae en Recursos Naturales (Universidad de Buenos Aires)

Doctor en Ciencias Agropecuarias (Universidad de Buenos Aires)

JURADO

Carlos Ferri

Ingeniero Agrónomo (Universidad Nacional de la Pampa)

Magister Scientiae (Universidad Nacional de Mar del Plata)

Doctor en Ciencias Agrarias (Universidad Nacional de Mar del Plata)

Fecha de defensa de la tesis: 23 de abril de 2018

Dedicatoria

A mis padres Cristina y Alberto.

A mi hermano, Damián y cuñada Karina

Agradecimientos

A mi directora de tesis, Adriana Rodriguez, por su dedicación, compromiso, enseñanza, buena voluntad y apoyo constante.

A Oscar Bertín, co-director de tesis y director de beca formación de INTA, quién con su apoyo, predisposición, dedicación y enseñanza continua permitió favorecer mi formación académica.

A Omar Scheneiter, consejero de estudio, por sus aportes que contribuyeron al desarrollo de la investigación.

A Francisco Damiano por su compromiso, vocación, enseñanza y colaborar en el relevamiento de suelos.

Al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria por haberme otorgado la beca y financiamiento que permitió realizar mi capacitación de postgrado.

A la Universidad de Buenos Aires que dispuso del lote y de las instalaciones del campo "Los Patricios" para la realización del experimento.

Al personal de la Escuela para Graduados Alberto Soriano por su atención y cordialidad.

A Germán Roitman por colaborar con el relevamiento de las especies vegetales.

A Juliana Torti, Leticia Garcia, Jimena Dalpiaz, María Liliana Darder y Leandro Anuch, quienes me capacitaron durante la pasantía realizada en el laboratorio de calidad de alimentos, suelos y agua del INTA EEA Pergamino.

A Jonatan Camarasa por su colaboración durante los muestreos.

A Juan Mattera por su colaboración durante los muestreos, y por sus consejos que contribuyeron a la escritura de la tesis.

A las empresas Gentos S.A y Yeso Agrícola Malargüe S.A por sus aportes.

A Andrés Codaro por la ayuda brindada a la hora de procesar las muestras.

A María José Beride por el apoyo brindado con los análisis estadísticos.

A Lorena Roldán por los aportes realizados a la escritura de la tesis.

Al personal del campo "Los Patricios" por la buena atención y excelente predisposición.

A Fernando Jecke por sus consejos y lectura de la tesis.

A Aldana Martinez y su familia quienes constantemente transmitieron sus apoyos y buenas energías para realizar la tesis.

A mi familia.

A todos les agradezco profundamente.

Declaración

Declaro que el material incluido en esta tesis es, a mi mejor saber y entender, original producto de mi propio trabajo (salvo en la medida en que se identifique explícitamente las contribuciones de los otros), y que este material no lo he presentado, en forma parcial o total, como una tesis en ésta u otra institución.

Ezequiel Martín Pacente

ÍNDICE GENERAL

Dedicatoria	iii
Agradecimientos	iv
Declaración	v
Índice de tablas	vii
Índice de figuras	viii
Abreviaturas	ix
Resumen	x
Abstract	xi
Capítulo I: INTRODUCCIÓN	1
1.1 Cambios en el uso de la tierra en la Región Pampeana.....	2
1.2 Heterogeneidad espacial y manejo sitio-específico.....	3
1.3 Factores que limitan el crecimiento de la vegetación en suelos salinos-sódicos.....	4
1.4 Problemática	6
1.5 Planteo de la investigación	7
1.6 Hipótesis	7
1.7 Objetivos	8
Capítulo II: MATERIALES Y MÉTODOS	9
2.1 Área y sitio de estudio	10
2.2 Diseño experimental.....	14
2.3 Tratamientos	15
2.3.1 A escala de la comunidad.....	15
2.3.2 A escala del lote	16
2.4 Variables respuesta	17
2.5 Análisis estadístico	18
Capítulo III: RESULTADOS	19
3.1 Producción primaria neta aérea	20
3.2 Contribución porcentual de los componentes en cada corte	26
3.3 Leguminosas.....	30
3.4 Agropiro	32
3.5 Calidad del forraje	33
3.6 Cambios en las variables edáficas	35
3.7 Manejo del pastizal natural a escala del lote	37
Capítulo IV: DISCUSIÓN	41
Capítulo V: CONCLUSIÓN	50
5.1 Conclusiones parciales	51
5.2 Conclusión general	52
Referencias bibliográficas	53
Anexos	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Componentes minoritarios presentes en las comunidades de festuca alta; raigrás-sporobolus y agropiro alargado.....	12
Tabla 2: Características edáficas de los ambientes de las tres comunidades evaluadas en el experimento de la presente tesis.....	13
Tabla 3: Porcentajes de ocupación de cada comunidad en 18 situaciones de pastizal compuesto por comunidades de festuca alta, raigrás-sporobolus y agropiro alargado. ..	16
Tabla 4: Producción primaria neta aérea anual total (PPNA) y contribución de cada componente de cada comunidad bajo los tres tratamientos de manejo.....	21
Tabla 5: Contribución porcentual de los componentes presentes en la producción primaria neta aérea total en cada tratamiento y comunidad.....	22
Tabla 6: Tasa de crecimiento de la comunidad de festuca según tratamiento y fecha de corte.....	24
Tabla 7: Contribución porcentual de los componentes a lo largo del periodo experimental en la comunidad de festuca (a), raigrás sporobolus (b) y agropiro (c).....	27
Tabla 8: Principales características edáficas al finalizar el período experimental en cada comunidad.....	36
Tabla 9: Productividad primaria neta aérea (PPNA) y oferta de proteína bruta (PB) del pastizal compuesto por 40, 20 y 40 % de festuca, raigrás-sporobolus y agropiro, respectivamente.....	37
Tabla 10: Características edáficas químicas iniciales de cada comunidad.	62
Tabla 11: Características edáficas físicas iniciales de cada comunidad.....	63
Tabla 12: Calidad de las semillas y densidad de siembra de las especies intersembradas	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Precipitaciones medias mensuales durante el período experimental (barras) y serie histórica (línea punteada) (1965-2014) para el partido de San Pedro	10
Figura 2: Temperatura media mensual menos la temperatura base (4 °C) durante el período experimental (línea entera) y en la serie histórica (línea punteada) (1965-2014) para el partido de San Pedro.....	11
Figura 3: Regresión lineal en los parámetros para estimar el % de proteína bruta en los cortes del manejo sitio-específico.	17
Figura 4: Distribución de las parcelas experimentales de las comunidades y bloques de festuca alta (FA), raigrás-sporobolus (R-S) y agropiro alargado (AA) en el lote 1 b.	14
Figura 5: Distribución de la producción primaria neta aérea total, expresada como tasa de crecimiento $\text{kg Ms.ha}^{-1}.\text{día}^{-1}$, en las comunidades de festuca (a), de raigrás-sporobolus (b) y de agropiro (c).....	25
Figura 6: Evolución del número de plantas intersebradas de trébol blanco, lotus y melilotus en las comunidades de a) festuca alta, b) raigrás-sporobolus y c) agropiro alargado, respectivamente.	31
Figura 7: Evolución del número de plantas de agropiro intersebradas en un Natracualf típico fase erosionada.	32
Figura 8: Materia seca digestible y oferta de proteína bruta (PB) de la comunidad de festuca (a y d), de raigrás-sporobolus (b y e) y de agropiro (c y f) bajo los tratamientos de manejo sitio-específico, bajos insumos y control.....	34
Figura 9: Simulación de la producción primaria neta aérea total, promedio de las dieciocho simulaciones, bajo los distintos tratamientos.	38
Figura 10: Simulación de la oferta de proteína bruta, promedio de las dieciocho simulaciones, bajo los distintos tratamientos.	38
Figura 11: PPNA total a escala del lote, promedio de los cuatro manejos, según la contribución relativa de las comunidades	39
Figura 12: Oferta de proteína bruta a escala del lote, promedio de los cuatro manejos, según la contribución relativa de las comunidades	40

Abreviaturas

AA: Comunidad de agropiro alargado
a: Arcillosa
aL: Arcillo limosa
°C: Grados centígrados
Ca⁺²: Calcio
°C-días: Grados-días
CaCO₃: Carbonato de calcio
CaSO₄2H₂O: Sulfato de calcio di hidratado
CE: Conductividad eléctrica
CO₂: Dióxido de carbono
dds: Días desde la siembra
DIVMS: Digestibilidad *in vitro* de la materia seca
FA: Comunidad de festuca alta
FaL: Franco arcillo limosa
FL: Franco limosa
MO: Materia orgánica
N: Nitrógeno
Na⁺: Sodio
Na₂SO₄: Sulfato de sodio
P: Fósforo
p: *p valor*
PB: Proteína bruta
pH: Concentración de iones hidrógeno [H]⁺
ppm: Partes por millón
PPNA: Productividad primaria neta aérea
PSI: Porcentaje de sodio intercambiable
R-S: Comunidad de raigrás-sporobolus
SPT: Superfosfato triple de calcio

Resumen

MANEJO SITIO-ESPECÍFICO DE UN PASTIZAL NATURAL DEL NORTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

En la Región Pampeana la producción ganadera, en especial de cría, se encuentra en ambientes de menor aptitud con alta heterogeneidad edáfica. En estos, los procesos de hidromorfismo y halomorfismo son comunes. Esta heterogeneidad se refleja en la vegetación, determinando diferentes comunidades de pastizales naturales. Al poder identificarlas, es posible aplicar prácticas de manejo sitio-específico. El objetivo de la investigación es evaluar el efecto de estas prácticas sobre la productividad primaria neta aérea (PPNA) y calidad de la oferta forrajera del pastizal. Se trabajó sobre tres comunidades vegetales del pastizal natural, denominadas de acuerdo a su composición florística predominante, festuca alta (FA), raigrás-sporobolus (R-S) y agropiro alargado (AA), situadas sobre distintos tipos de suelos: Argiudol vértico fase hidromórfica, Natracualf típico y Natracualf típico fase erosionada, respectivamente. En cada comunidad se comparó la PPNA y la calidad de la oferta forrajera obtenida bajo tres tratamientos: sitio-específico, bajos insumos y control. Se simuló la PPNA y la oferta de proteína bruta del pastizal con cuatro opciones de manejo y con dieciocho proporciones de cada comunidad. No se logró incrementar la PPNA de las comunidades con el manejo sitio-específico. Sin embargo, en las comunidades de raigrás-sporobolus y agropiro se modificó el patrón de distribución de la productividad primaria. Las leguminosas se implantaron en el manejo sitio-específico pero no persistieron, y en el corte en que contribuyeron con mayor proporción, el aporte de proteína del forraje fue significativo sólo en la comunidad de raigrás-sporobolus. Con el manejo sitio-específico se incrementó el fósforo en el suelo en las comunidades de festuca y agropiro. En esta última, la incorporación de yeso agrícola no logró corregir el pH y el sodio. La productividad primaria y la proteína bruta simulada del pastizal fue superior con un manejo sitio-específico eficiente en relación con los tratamientos bajos insumos y control.

Palabras clave: productividad primaria neta aérea, intersiembra, fertilización fosforada, defoliación, enmienda.

Abstract

SITE - SPECIFIC MANAGEMENT OF A NORTH NATURAL PASTURE OF THE PROVINCE OF BUENOS AIRES

In the Pampa region, livestock production, especially breeding, is found in environments with less aptitude that have high edaphic heterogeneity. In these environments the processes of hydromorphism and halomorphism are common. This edaphic heterogeneity is reflected in the vegetation, determining different communities of natural grasslands. That by being able to identify them, it is possible to apply site-specific management practices. The objective of the research is to evaluate the effect of these practices on the net primary productivity area (PPNA) and quality of the pasture forage supply. It was worked on three plant communities of a natural pasture, named according to their predominant floristic composition, tall fescue (FA), ryegrass-sporobolus (R-S) and elongated wheatgrass (AA), located on different types of soils: Argiudol vértico hydromorphic phase, Natracualf típico and Natracualf típico eroded phase, respectively. In each community compared the PPNA and the quality of the forage supply obtained under three treatments: Site-specific management, low inputs and a control treatment. It was simulated PPNA and the offer of crude protein of the grassland with four management options and eighteen proportions of each community. It was not possible to increase the production of the evaluated communities with the site-specific management. However, in the raigrás-sporobolus and agropiro communities, the pattern of distribution of primary productivity was modified. The legumes were well implanted but did not persist and in the cut that there was a greater proportion of them, the contribution of forage protein was significant only in the community of raigrás-sporobolus. The phosphorus content in the soil was increased in the communities of fescue and agropiro and in the latter it was not possible to correct the pH and the PSI. The PPNA and the offer PB simulated of the pasture was superior with an efficient site-specific management in relation to the treatments of low inputs and control.

Key words: Net primary productivity, inter sowing, phosphorus fertilization, defoliation, amendment.

Capítulo I: INTRODUCCIÓN

1.1 Cambios en el uso de la tierra en la Región Pampeana

La región pampeana ocupa aproximadamente 52 millones de hectáreas distribuidas en seis provincias de la República Argentina: Santa Fe, Entre Ríos, Córdoba, La Pampa, San Luis y Buenos Aires (Solbrig y Viglizzo 1999; Stratta Fernandez y Ríos Carmenado 2010). Se divide en cinco subregiones: Pampa Ondulada; Pampa Arenosa; Pampa Austral; Pampa Deprimida y Pampa Mesopotámica (Hall et al. 1992). Hasta la década de 1960, la producción agropecuaria en esta región estaba distribuida en tres zonas, una predominantemente agrícola, otra mixta en las que la agricultura se rotaba con la ganadería y una principalmente ganadera (Satorre 2005; González y Román 2009). Con el transcurso de los años, a través del proceso de agriculturización, la producción de granos desplazó a la ganadería, en especial a la cría, a los suelos de menor aptitud (halomórficos -sódicos, salinos y salinos-sódicos, normalmente con hidromorfismo), en donde los cultivos agrícolas no pueden prosperar. La ganadería también se desplazó a otras regiones extrapampeanas del país, en especial el noroeste y el noreste argentino (Chaco, Santiago del Estero, Tucumán y Salta) donde la producción de granos ocupó áreas naturales, montes nativos de especies valiosas como el algarrobo y el quebracho, en las que fue necesario su desmonte para cultivar (Satorre 2005; Bazzigalupi et al. 2008; Petrantonio y Aranguren 2008; Zarrilli 2008; González y Román 2009; Dávila 2012). A partir de la campaña 1996/1997, cuando se permite el ingreso al país de los primeros materiales de soja transgénicos tolerantes al glifosato, el proceso de avance de la agricultura se aceleró notablemente, y fue así que este cultivo oleaginoso produjo una reducción o estancamiento de la superficie dedicada a otros cultivos agrícolas y a la ganadería (Satorre 2005; Petrantonio y Aranguren 2008; Reboratti 2010). Por consiguiente, las pasturas y cultivos forrajeros anuales de los sistemas mixtos y ganaderos fueron reemplazados principalmente por los cultivos de soja, maíz, trigo y girasol (Rearte 2010) y la carga animal aumentó en las áreas menos fértiles (Rodríguez y Jacobo 2010).

Dentro de la región Pampeana, la Pampa Deprimida se caracteriza por poseer la mayor superficie de suelos no aptos para los cultivos agrícolas, en donde la cría de ganado vacuno sobre pastizales naturales es la actividad agropecuaria preponderante (Rodríguez y Jacobo 2012). Numerosos trabajos se han realizados para entender el funcionamiento de estos pastizales, su heterogeneidad, su interacción con el ambiente y con el herbívoro (Batista y León 1992; León y Burkart 1998; Perelman et al. 2001; Jacobo et al. 2006). Respecto de la heterogeneidad, están bien descriptas e identificadas florísticamente las comunidades vegetales predominantes (León y Burkart 1998), la productividad primaria neta aérea (PPNA) de cada comunidad y su variación espacial y temporal (Paruelo et al. 1999), dependen de las especies que las componen. El hidromorfismo y el halomorfismo son procesos característicos de los suelos de esta subregión, que pueden ocurrir simultáneamente o en forma independiente y son el resultado de la posición en el relieve y de las propiedades físicas y químicas de los suelos, que a su vez determinan las características de las comunidades vegetales de estos pastizales (Batista y León 1992). Estos procesos edáficos no son exclusivos de esta subregión, también en la Pampa Ondulada y en las otras subregiones existen ambientes similares en cuanto a estructura y funcionamiento de la vegetación en las posiciones bajas del relieve, principalmente en las cercanías de los cursos de agua (Martín et al. 2007). Por lo tanto, los trabajos realizados en la Pampa Deprimida pueden ser utilizados como base conceptual que contribuyan a investigar alternativas para incrementar la oferta de forraje y la producción ganadera, en ambientes homólogos de otras subregiones de la

Región Pampeana que también presentan alta heterogeneidad espacial y diversas restricciones para la producción primaria, en un contexto de mayor presión de pastoreo.

1.2 Heterogeneidad espacial y manejo sitio-específico

Los paisajes de los ambientes bajos de la Región Pampeana se caracterizan por tener una alta heterogeneidad edáfica, determinadas por una gran variabilidad en características, tales como: el espesor de los horizontes orgánicos, la presencia de horizontes gleizados, la profundidad de la napa freática, el contenido de ciertos iones, la existencia de impedimentos físicos o la frecuencia de inundaciones (Cauhépé et al. 1982). Esta heterogeneidad edáfica determina, a su vez, una alta diversidad de especies que se agrupan en comunidades vegetales adaptadas al tipo de suelo y a la posición en el relieve que ocupan (Cauhépé et al. 1982; Batista et al. 2005). Mediante la investigación y caracterización de cada sub-ambiente y su comunidad vegetal asociada, es posible aplicar prácticas agronómicas específicas que permitan un uso óptimo de los recursos: suelo, agua, nutrientes y especies de valor forrajero, mediante el manejo sitio-específico. Este se define como el manejo de los cultivos en una escala espacial menor que la del lote (Plant 2001; Corwin y Lesch 2005). Su principio básico radica en que la variabilidad espacial del ambiente en un mismo lote afecta diferencialmente al crecimiento de las especies vegetales. Esta variabilidad espacial es el resultado de una compleja interacción de factores biológicos (plagas, mesofauna, microorganismos), edáficos (porcentaje de sodio intercambiable, salinidad, profundidad de la napa freática, materia orgánica, nutrientes, textura), topográficos (pendiente, altitud), climáticos (humedad relativa, temperatura, precipitaciones) y antropogénicos (compactación) (Van Uffelen et al. 1997; Corwin y Lesch 2005). Si estas variaciones pueden ser determinadas y cuantificadas (Plant 2001; Horney et al. 2005), se puede dividir el lote en zonas de ordenación más pequeñas que sean homogéneas en las propiedades de interés (Zhang et al. 2002; Gambaudo et al. 2012). Luego se pueden ajustar las prácticas de manejo para obtener una respuesta óptima en los diferentes lugares del lote, al aplicar un insumo en la cantidad que la zona requiera y no en áreas en las cuales no se espera respuesta a la tecnología aplicada (Horney et al. 2005; Gambaudo et al. 2012). De esta manera se hace eficiente el uso de los insumos, se maximiza la producción del cultivo y se minimiza el efecto negativo que tienen los agroquímicos sobre el ambiente (Van Uffelen et al. 1997; Stafford 2000; Corwin y Lesch 2005). Senay et al. (1998) (citado en Plant 2001) distinguen tres formas de medir la variabilidad espacial, una continua a través del control del rendimiento (producción de grano, monitores de rendimiento), otra discontinua a través del muestreo por puntos de las propiedades del suelo o de las plantas y otra de forma remota mediante fotografías aéreas, imágenes satelitales y cartas de suelo. La primera alternativa se utiliza exclusivamente para la agricultura y las dos restantes también pueden ser usadas para determinar la heterogeneidad en ambientes ganaderos. En pastizales naturales con alta heterogeneidad edáfica, la identificación de cada ambiente (suelo-comunidad vegetal), y su posterior manejo sitio-específico sería una herramienta para incrementar la PPNA y, por lo tanto, la producción ganadera de forma eficiente en ambientes heterogéneos. Otra herramienta para llegar al mismo fin siguiendo los mismos criterios que la anterior, sería el “manejo sitio-específico eficiente” que consiste en aplicar a cada unidad homogénea el tratamiento que es más eficiente en el uso de los insumos en relación al beneficio obtenido. Por lo tanto, en cada comunidad se la maneja en función de la práctica agronómica que sea más productiva y que requiera menos insumos.

1.3 Factores que limitan el crecimiento de la vegetación en suelos salinos-sódicos

Los pastizales de ambientes bajos de la Región Pampeana, presentan habitualmente baja PPNA y pocas especies de valor forrajero (Cauhépé y Hidalgo, 2005) como consecuencia de factores abióticos, bióticos y antrópicos que interactúan entre sí. Los principales factores son el alto grado de sodicidad de los suelos, la escasa disponibilidad de fósforo edáfico y el inadecuado manejo del pastoreo, que determina procesos de sobre o sub pastoreo. La interacción de estos factores resulta en la escasez o ausencia de especies de alto valor forrajero, entre ellas las leguminosas (Rodríguez y Jacobo 2012).

El grado de sodicidad de los suelos se cuantifica mediante el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) en el horizonte superficial, donde valores mayores a 5 % afectan negativamente el crecimiento de las plantas. Este catión produce la dispersión de las arcillas y la materia orgánica, provocando la pérdida de estructura del suelo (Vazquez 2001). Las arcillas sódicas cuando se hidrolizan en presencia de CO_2 se transforman en coloides inestables y como consecuencia de ello, migran en el perfil obstruyendo los poros, provocando la densificación del horizonte lo que conduce a la disminución de la infiltración y el movimiento de agua (Montico 2006; Moreno y Bonadeo 2012). En estado húmedo, estos suelos se expanden y cuando se secan se cuarteán y endurecen, lo que afecta negativamente la profundización y proliferación de raíces (Moreno y Bonadeo 2012). El alto contenido de sodio provoca que el pH del suelo aumente, disminuyendo la disponibilidad de algunos nutrientes esenciales y provocando la toxicidad por una elevada disponibilidad de otros, incluido el propio sodio (Moreno y Bonadeo 2012).

Los suelos sódicos pueden corregirse mediante el agregado de yeso agrícola, sulfato de calcio di hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Cuando se disuelve en la solución del suelo reacciona con el sodio (Na^+) y forma sulfato de sodio (Na_2SO_4) que es altamente móvil en la matriz del suelo, por lo tanto el sodio lixivia a estratos inferiores. El calcio (Ca^{+2}) presente en el yeso es liberado y retenido en la superficie de las arcillas. En este proceso el pH del suelo desciende y se reemplaza el catión Na^+ de las arcillas por el Ca^{+2} y las arcillas pasan de estar dispersas a floculadas debido a la presencia de este último catión (Taboada y Lavado 2009). Martín et al. (2012) lograron bajar significativamente el pH de suelos salinos-sódicos de 9,6 a 7,7 con dosis altas de yeso ($7.500 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), pero no con dosis bajas ($3.000 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) donde el pH disminuyó sólo 0,5 unidades. Por otro lado, Wong et al. (2009) utilizaron dosis muy altas ($10.000 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) y consiguieron bajar el pH de 10 a 8. Durante este proceso, la conductividad eléctrica aumentó debido a que la enmienda incrementa la concentración de electrolitos en el suelo (Wong et al. 2009; Martín et al. 2012).

En los suelos salinos-sódicos es muy baja la disponibilidad de fósforo (P), siendo una de las principales limitantes de la PPNA. La disponibilidad de P en el suelo determina la concentración de P en los tejidos foliares y, por lo tanto, la cantidad de P que ingiere el ganado bovino, la cual debe estar comprendida entre 12 y $24 \text{ g de P} \cdot \text{día}^{-1}$ (Call et al. 1986; NRC 2000) para no afectar negativamente la producción animal, ya que el déficit de P actúa sobre diversos procesos fisiológicos en las vacas de cría (Lavado 1992; Mufarrege 1999; Pizzio et al. 2005). Por lo tanto, en estos ambientes es imprescindible aumentar la disponibilidad de P mediante la fertilización para promover el crecimiento de la vegetación en general y de las leguminosas en particular, tanto las intersembradas como las espontáneas de la comunidad, dado que tienen una mayor demanda de P en relación con las gramíneas (Sevilla y Fernández 1991; García et al.

2002) y para incrementar el contenido de P en los tejidos foliares mejorando la calidad de la dieta del rumiante.

El manejo del pastoreo en los pastizales habitualmente no está ajustado a la tasa de crecimiento de la vegetación ni la carga animal es acorde a la receptividad del recurso forrajero. Como resultado, en algunas áreas del pastizal y según la época del año, coexisten procesos de sub y sobre-pastoreo y, por lo tanto, el vacuno ejerce preferencia por las especies de alto valor forrajero, que son defoliadas recurrentemente (Brizuela y Cibils 2011). El inadecuado manejo del pastoreo produce la pérdida de la biodiversidad del pastizal y la degradación del suelo (Jacobo et al. 2006). Para mejorar la condición del pastizal se debe modificar el manejo del pastoreo (Deregibus y Cauhépé 1983), controlando la intensidad y la frecuencia de defoliación (Brizuela y Cibils 2011). Este manejo controlado del pastoreo permite promover grupos florísticos de alto valor forrajero y disminuir la superficie de suelo desnudo (Jacobo et al. 2006). En las especies forrajeras, la frecuencia de defoliación óptima está determinada por la vida media foliar de la especie dominante de la comunidad (Lemaire et al. 2009), la que se calcula en términos de grados-días ($^{\circ}\text{C-días}$). Al adecuar el intervalo entre defoliaciones a la vida media foliar de la especie clave se remueven las hojas antes de que comiencen a senescer, manteniendo el tapiz verde y se asegura la regeneración del área foliar hasta alcanzar al menos la máxima tasa de crecimiento instantánea.

Las leguminosas tienen requerimientos de P más altos que las gramíneas, en general tienen baja tolerancia a sodicidad y salinidad, son muy susceptibles a la competencia que le ejercen otras especies, particularmente las gramíneas, y son muy preferidas por el ganado, que las defolia recurrentemente si el manejo del pastoreo no es adecuado. Estos son algunos de los factores que explican la escasez de leguminosas en los pastizales de ambientes salinos-sódicos. Dado que las leguminosas permiten mejorar la calidad de la dieta del bovino con el aporte de nitrógeno (N) (Sevilla y Fernández 1991), además de entregar este nutriente al suelo a través de la fijación biológica (Sevilla y Fernández 1991; Díaz Zorita 2002), es necesario incrementar la contribución de este grupo en los recursos forrajeros. Una forma es mediante la intersiembra, el éxito de esta y de la resiembra natural dependen en gran medida de la aplicación de prácticas de manejo adecuadas. Existen diversos factores abióticos y bióticos que influyen en la emergencia y en el establecimiento de las plántulas (Sevilla y Fernández 1991). Harper et al. (1965) demostraron, en diferentes especies vegetales, que la heterogeneidad edáfica genera distintos micrositios y estos ofrecen condiciones diferentes a las semillas para desencadenar la germinación. Este proceso depende de las condiciones que existen en el sitio que rodea a la semilla (Fenner y Thompson 2005). Posteriormente, estos sitios juegan un rol importante en el establecimiento de las plántulas. En siembras al voleo, para la mayoría de las especies vegetales, la germinación es afectada por canopeos muy densos. En estos casos se requiere de al menos de un disturbio para dejar áreas libres de vegetación. Estas áreas se las definen como un sitio seguro en donde las semillas pueden romper su dormancia, germinar y establecerse, y en estos lugares los efectos de los predadores, competidores y patógenos son mínimos (Fenner y Thompson 2005). En pastizales naturales estos sitios se pueden generar a través de distintos tipos de disturbios (inundaciones, fuego, fuertes heladas, desplazamientos de tierra, pisoteo, deposiciones de estiércol, entre otros). Las semillas que se dispersan de las inflorescencias caen sobre el suelo, y cuando lo hacen sobre grietas quedan protegidas de la acción del viento y del agua. Las superficies rugosas, en relación con las lisas, generan mayores oportunidades para la germinación de las semillas (Fenner y Thompson 2005). Cada especie posee requerimientos específicos para germinar (Harper

et al. 1965) y para incorporar especies leguminosas, a las comunidades del pastizal, se debe considerar la adaptación, de las especies disponibles en el mercado de semillas, a las características edáficas. De esta manera se introduce la especie adaptada a las características de cada ambiente. Por ejemplo, el trébol blanco (*Trifolium repens* Lam.) requiere suelos con alta disponibilidad hídrica en el horizonte superficial y es sensible a la alcalinidad y salinidad, el lotus tenuis (*Lotus tenuis* Wald. et Kit) se adapta a suelos con anegamientos y alcalinidad moderados y el trébol de olor de flor blanca o melilotus (*Melilotus albus* Des. in Lam. (Medik.)) que se adapta a suelos con mayores niveles de alcalinidad y salinidad (Maddaloni y Ferrari 2001).

1.4 Problemática

En los pastizales pampeanos, la variabilidad del ambiente, debida principalmente a la posición topográfica y a las características físicas y químicas del suelo, es alta en superficies relativamente pequeñas, lo que determina la presencia de distintas comunidades vegetales a escala del lote. Como consecuencia del desplazamiento de la ganadería a ambientes marginales, surge la necesidad de desarrollar prácticas de manejo agronómico apropiadas para maximizar la eficiencia en la producción y el aprovechamiento del forraje en los ambientes con alta heterogeneidad edáfica, en los que actualmente está concentrada la producción ganadera. El manejo actual de los pastizales naturales no tiene en cuenta la heterogeneidad espacial, siendo lo habitual aplicar la misma práctica (aplicación de nutrientes, intersiembra, frecuencia e intensidad de pastoreo, entre otras) a todo el lote. Los conocimientos generados por diversos investigadores (Batista y León 1992; León y Burkart 1998; Perelman et al. 2001; Lezama et al. 2006; Jacobo et al. 2006, Martín et al. 2007; Rodríguez y Jacobo 2012) sugieren que no se lograría aumentar la PPNA de un pastizal integrado por comunidades vegetales diversas manejándolo como una sola unidad homogénea. Por el contrario, estos trabajos conducen a pensar que el aumento de la PPNA de un pastizal integrado por comunidades diversas sólo sería posible a través del incremento de la productividad de cada comunidad. Para ello es necesario identificar las limitantes de cada sub-ambiente (características físicas y químicas del suelo, disponibilidad de nutrientes, de agua, etc.) y su comunidad vegetal asociada (composición florística, dinámica de la PPNA) para aplicar prácticas agronómicas específicas que superen las limitantes propias de cada sub-ambiente y comunidad, lo que resulta en usar el concepto de manejo sitio-específico en un ambiente ganadero. Por lo tanto, en este trabajo se evaluó la aplicación de la tecnología de manejo sitio-específico como alternativa para aumentar la producción y la calidad de la oferta forrajera, en comparación con un manejo que aplica las mismas prácticas de manejo a escala del lote, independientemente de la heterogeneidad edáfica que presente.

1.5 Planteo de la investigación

En un lote de pastizal natural, compuesto por tres comunidades vegetales principales, de acuerdo al predominio en su composición botánica, denominadas de festuca alta (FA), raigrás-sporobolus (R-S) y agropiro alargado (AA), adaptadas a las características edáficas y posición topográfica del ambiente que ocupan, se evaluaron tres prácticas de manejo. A cada una de las comunidades, se aplicaron tres tratamientos, “manejo sitio-específico”: incluyó el desplazamiento del sodio del suelo con yeso agrícola (sólo en la comunidad de agropiro), la fertilización fosforada, la incorporación de leguminosas y la adecuación de la frecuencia de defoliación según las características de las especies dominantes de cada comunidad; “manejo de bajos insumos”: se aplicó la mitad de la dosis de P, en relación al tratamiento anterior, y una misma frecuencia de defoliación en todas las comunidades y un “control”: sin fertilización fosforada y se utilizó la misma frecuencia de defoliación que el manejo de bajos insumos. En cada una de las comunidades se contrastó la PPNA y la calidad de la oferta forrajera producto de los tratamientos aplicados. El período experimental abarco un año completo para incluir las cuatros estaciones. A escala del lote, la PPNA y la oferta de proteína bruta se simuló combinando cuatro opciones de manejo (manejo sitio-específico, manejo de bajos insumos y control en las tres comunidades y manejo sitio-específico eficiente, aplicando en cada comunidad el tratamiento que resultó más eficiente en relación al uso de insumos) con dieciocho proporciones de cada comunidad. En este marco se plantean las siguientes hipótesis:

1.6 Hipótesis

Hipótesis general

En pastizales naturales con variabilidad espacial, la corrección de las restricciones de cada comunidad incrementa la productividad primaria neta aérea y la oferta forrajera de materia seca digestible y de proteína bruta. Las restricciones incluyen altos niveles de sodio intercambiable y/o bajo contenido de fósforo, la falta de leguminosas y la inadecuada frecuencia de defoliación según la especie clave de cada comunidad.

Hipótesis parciales

En la comunidad dominada por festuca alta (*Schedonorus arundinaceus* (Schreb.) Dumort.) desarrollada en un suelo Argiudol vértico fase hidromórfica, al intersembrar trébol blanco, fertilizar con fósforo y establecer la frecuencia de defoliación en función de la vida media foliar de la especie dominante, se incrementa la PPNA, la oferta de materia seca digestible y de proteína bruta en comparación con el manejo de bajos insumos y el tratamiento control.

En la comunidad dominada por raigrás anual (*Lolium multiflorum* Lam.) y pasto baqueta o sporobolus (*Sporobolus indicus* (L) R. Br.) en un suelo Natracualf típico, al intersembrar lotus tenuis, fertilizar con fósforo y establecer la frecuencia de defoliación en función de la vida media foliar de raigrás desde fines de otoño hasta principios de primavera y de sporobolus desde mediados de primavera hasta mediados de otoño se incrementa la PPNA, la oferta de materia seca digestible y de proteína bruta en comparación con el manejo de bajos insumos y el tratamiento control.

En la comunidad dominada por agropiro alargado (*Thinopyron ponticum* (Podp.) Barworth et Dewey) en un suelo Natracualf típico fase erosionada, al corregir la sodicidad con yeso agrícola, intersembrar melilotus y agropiro, fertilizar con fósforo y establecer la frecuencia de defoliación en función de la especie dominante se incrementa la PPNA, la oferta de materia seca digestible y de proteína bruta en comparación con el manejo de bajos insumos y el tratamiento control.

A escala del lote, la PPNA total y la oferta de proteína bruta resultantes de la integración de los valores obtenidos en cada comunidad bajo un manejo sitio-específico eficiente son superiores a los obtenidos bajo manejo sitio-específico, manejo de bajos insumos y tratamiento control.

1.7 Objetivos

Objetivo general

Evaluar el efecto del manejo sitio-específico sobre la PPNA y la calidad de la oferta forrajera de un pastizal natural del norte de la provincia de Buenos Aires.

Objetivos específicos

Determinar la PPNA, los cambios en la composición botánica, la oferta de materia seca digestible y de proteína bruta del pastizal de cada comunidad sometida a manejo sitio-específico, manejo de bajos insumos y tratamiento control.

Evaluar la implantación y establecimiento de las especies intersembradas en las comunidades del pastizal natural.

Simular los resultados de PPNA total y la oferta de proteína bruta a escala del lote con distintas contribuciones relativas de las comunidades que lo conforman bajo cada tratamiento de manejo y bajo la combinación de los tratamientos que resultaron más eficientes en relación al uso de insumos en cada comunidad (manejo sitio-específico eficiente).

Capítulo II: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Área y sitio de estudio

La Pampa Ondulada abarca aproximadamente 8,2 millones de hectáreas (Viglizzo et al. 2001). Se caracteriza por tener un relieve suavemente ondulado y un buen drenaje a través de una red de arroyos y ríos afluentes del Río de la Plata (Soriano et al. 1991). Debido a las pendientes y al sistema de drenaje, cuando se anegan los campos bajos o valles de inundación de arroyos y ríos, el agua permanece poco tiempo. Las precipitaciones rondan los 1.000 mm.año⁻¹ y el clima es templado-cálido y húmedo, con temperaturas medias anuales que oscilan entre 15 °C y 16,5 °C (Hall et al. 1992). El experimento se llevó a cabo en un lote de 20 ha, (-denominado 1b-33°48'S; 59°52' O; 31m snm) del establecimiento Los Patricios perteneciente a la Universidad de Buenos Aires, ubicado en el Partido de San Pedro (Buenos Aires, Argentina), este de la Pampa Ondulada. En este Partido, según la serie meteorológica histórica (1965-2014) registrada en la Estación Experimental Agropecuaria San Pedro, INTA, la precipitación (ppt) media anual fue de 1.066 mm, las temperaturas mínimas promedio en invierno y verano fueron de 6 °C y 29 °C, respectivamente (Zanek et al. 2015). La precipitación media mensual fue registrada durante el período experimental (datos obtenidos de la estación meteorológica de Santa Lucía, ubicada a 9 km del sitio experimental) y comparada con la media mensual histórica (Fig. 1). La temperatura media mensual por encima de los 4 °C, utilizada para calcular la suma térmica, durante el período experimental fue similar a la media histórica. Entre fines del invierno y principios de la primavera la pendiente de la curva es positiva, incrementando la temperatura que suman las plantas, mientras que durante mediados del otoño comienza a disminuir hasta hacerse ser mínima en invierno (Fig. 2).

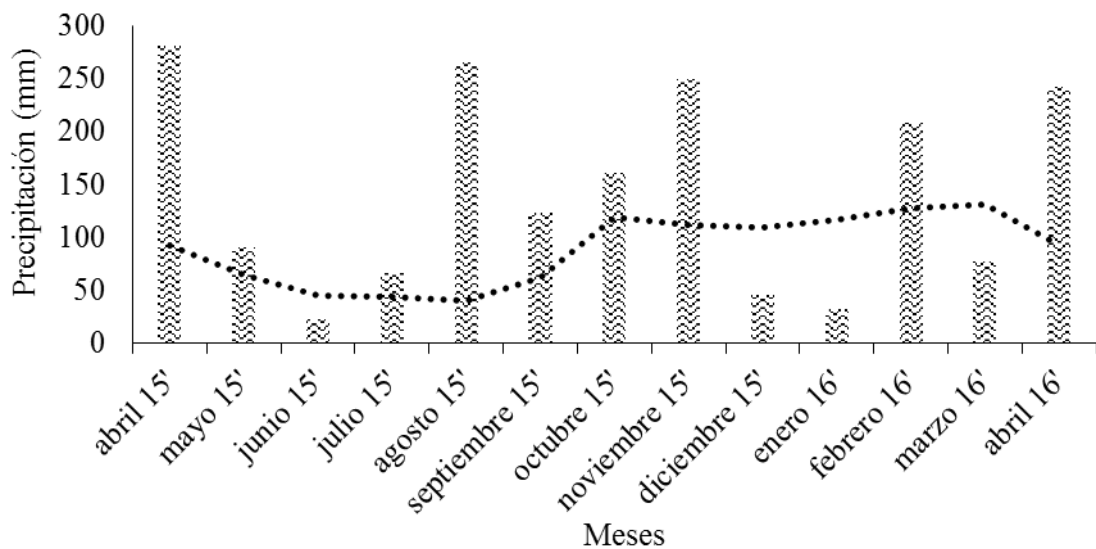


Figura 1: Precipitaciones medias mensuales durante el período experimental (barras) y serie histórica (línea punteada) (1965-2014) para el partido de San Pedro.

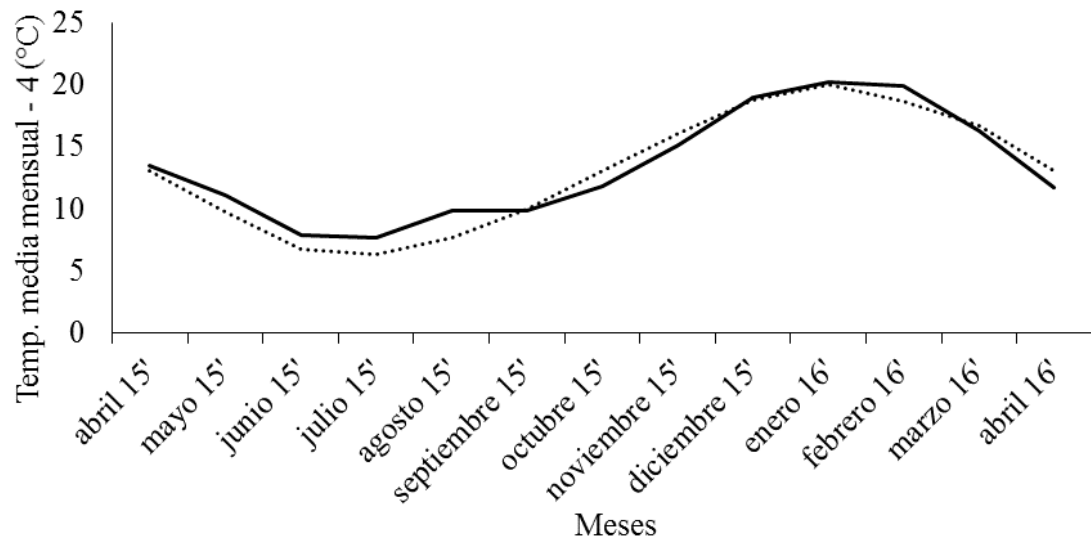


Figura 2: Temperatura media mensual menos la temperatura base (4 °C) durante el período experimental (línea entera) y en la serie histórica (línea punteada) (1965-2014) para el partido de San Pedro.

El 12 de diciembre del 2014 se relevó la vegetación y, a partir de la misma, se identificaron tres comunidades de vegetación, en las que predominaban a) festuca alta (FA), b) raigrás-sporobolus (R-S) y c) agropiro alargado (AA) y, las mismas, cubrían el 40, 20 y 40% de la superficie del lote, respectivamente. La comunidad R-S, estaba dominada por raigrás anual en invierno y principios de primavera y por sporobolus en fines de primavera, verano y otoño. El 13 de febrero del 2015 se identificó el tipo de suelo correspondiente a cada comunidad mediante calicatas y se obtuvieron muestras de los horizontes para determinar las principales características químicas (N, P, pH, conductividad eléctrica y cationes) y físicas (textura, capacidad de campo y punto de marchitez permanente) (Anexo, tablas 10 y 11). De estos análisis surgió que cada comunidad (FA, R-S y AA) se correspondió con un tipo de suelo diferente (Argiudol vértico fase hidromórfica, Natracualf típico y Natracualf típico fase erosionada, respectivamente (Tabla 2). Posteriormente, al finalizar el ensayo el 18 de julio del 2016, se realizó un muestreo de los primeros 20 cm del suelo de todos los sitios experimentales de las comunidades (Tabla 8). La comunidad FA presentó como componente mayoritario (> 85%) a *Schedonorus arundinaceus* (Schreb.) Dumort. Y en la comunidad R-S los componentes mayoritarios fueron *Lolium multiflorum* Lam. y *Sporobolus indicus* (L) R. Br. En la comunidad dominada por AA (*Thinopyron ponticum* (Podp.) Barworth et Dewey) y en conjunto con *Distichlis scoparia* y *Cynodon plectostachyus* tuvieron una cobertura mayor al 85 %. Los componentes minoritarios presentes en cada comunidad se presentan en la Tabla 1.

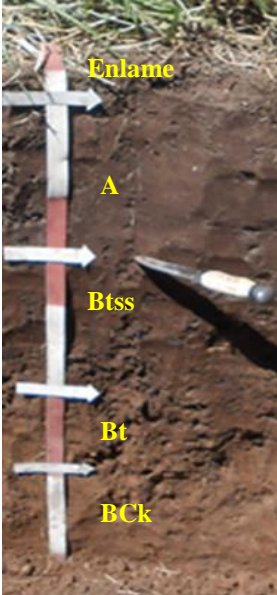
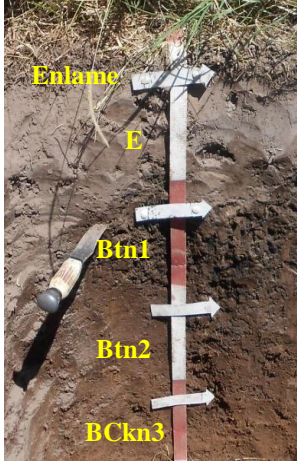
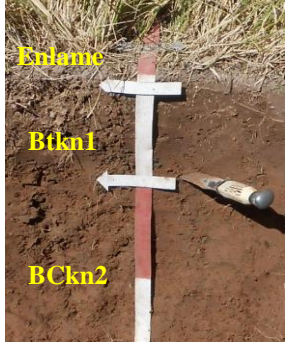
Tabla 1: Componentes minoritarios presentes en las comunidades de festuca alta; raigrás-sporobolus y agropiro alargado.

Comunidad	Componentes minoritarios
FA	<i>Cynodon sp.</i> ; <i>Lolium multiflorum</i> ; <i>Panicum milioides</i> ; <i>Stipa neesiana</i> ; <i>Deyeuxia viridiflavescens</i> ; <i>Poa sp.</i> ; <i>Bothriochloa laguroides</i> ; <i>Bromus unioloides</i> ; <i>Lotus tenuis</i> ; <i>Piptochaetium sp.</i> ; <i>Stipa papposa</i> ; <i>Stipa hialina</i> ; <i>Baccharis piugrae</i> ; <i>Cirsium vulgare</i> ; <i>Phyla canescens</i> ; <i>Eryngium coronarium</i> ; <i>Cyperus sp.</i> ; <i>Grindelia scorzonerifolia</i> ; <i>Briza subaristata</i> ; <i>Verbena litoralis</i> ; <i>Tragia sp.</i> y <i>Eryngium ebracteatum</i> .
R-S	<i>Cynodon sp.</i> ; <i>Panicum milioides</i> ; <i>Acmella decumbens</i> ; <i>Pterocaulom sp.</i> ; <i>Aristida megapotámica</i> ; <i>Panicum sabulorum</i> ; <i>Baccharis notoserigila</i> ; <i>Sisyrinchium platense</i> ; <i>Baccharis pringaea</i> y <i>Paspalum vaginatum</i>
AA	<i>Hordeum sp.</i> ; <i>Chaetotropis sp.</i> ; <i>Sisyrinchium platense</i> ; <i>Lotus sp.</i> ; <i>Paspalum vaginatu</i> ; <i>Aster squamatus</i> y <i>Rumex sp.</i>

Fuente: Elaboración propia en colaboración con Germán Roitman y Adriana Rodríguez (2015)

FA: festuca alta; R-S: raigrás-sporobolus y AA: Agropiro alargado

Tabla 2: Características edáficas de los ambientes de las tres comunidades evaluadas en el experimento de la presente tesis.

	Comunidad 1	Comunidad 2	Comunidad 3
Paisaje	Plano aterrazado inferior, ligeramente inclinado, muy suave	Plano aterrazado inferior, ligeramente inclinado, muy suave	Plano aluvial del arroyo Tala
Relieve	Subnormal	Subnormal	Cóncavo
Posición	Media loma baja	Pie de loma	Bajo
Suelo	Argiudol vértico fase hidromórfica	Natracualf típico	Natracuaf típico fase erosionada
Perfil de Suelo	 <p>Broza/Enlame: 0-5 cm A: 5-31 cm; gris muy oscuro; FL Btss: 31-60 cm; caras de fricción; a Bt: 60-80; aL BCK: 80+; FaL; cn CaCO₃</p>	 <p>Broza/Enlame: 0-3 cm E: 3-24 cm; grisáceo oscuro; FL Btn1: 24-44; a Btn2: 44-65; aL BCkn3: 65+; FaL</p>	 <p>Broza/Enlame: 0-2 cm Btkn1: 2-21 cm; pardo oscuro; a BCkn2: 21+; aL Bt enraizado Suelo descubierto con grietas superficiales con concreciones de CaCO₃</p>
Estructura horizonte superficial	Semi Migajosa / Granular media, moderada. Presencia de lombrices	Columnar gruesa, fuerte	Primas compuestos irregulares gruesa, moderada.
Hidro-morfismo	Imperfectamente drenado (d 2/3). Permeabilidad lenta, poco anegable y poco inundable. Moteados de Fe débiles, escasos y finos. concreciones Fe-Mn en horizonte BC	Pobrementemente drenado (d 1/2). Permeabilidad muy lenta, anegable y poco inundable. Moteados de Fe precisos, abundantes y finos. Chorreadura de MO.	Muy pobrementemente drenado (d 1/0). Muy anegable e inundable. Fe reducido, evidencias de gleización, concreciones Fe-Mn. Napa: 90 cm; ligeramente salina, CE 1,1 dS/m
Erosión	Sin erosión	Horizonte Álbico degradado	Horizonte A decapitado

Fuente: Elaboración propia en colaboración con Francisco Damiano (2015). Textura al tacto: Franco

limosa (FL), franco arcillo limosa (FaL), arcillo limosa (aL) y arcillosa (a)

2.2 Diseño experimental

Se localizaron en el lote cuatro sitios dentro de cada una de las tres comunidades denominadas: festuca alta (FA), raigrás-sporobolus (R-S) y agropiro alargado (AA) (Fig. 3). Cada sitio constituyó un bloque y dentro de cada bloque se asignaron al azar los tres tratamientos: manejo sitio-específico, manejo bajos insumos y control. La superficie asignada a cada tratamiento (parcela) dentro del bloque fue de tres por cinco metros. Por lo tanto, se estableció un diseño de bloques completos con tres tratamientos asignados al azar.

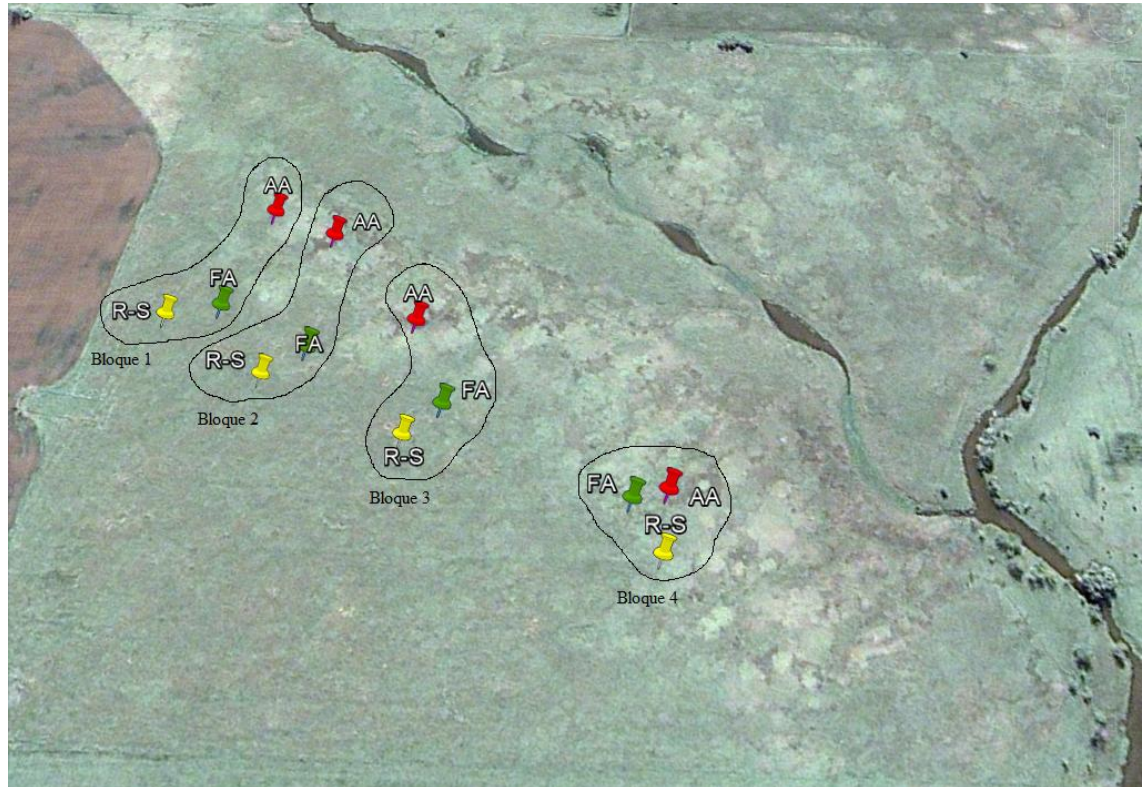


Figura 3: Distribución de las parcelas experimentales de las comunidades y bloques de festuca alta (FA), raigrás-sporobolus (R-S) y agropiro alargado (AA) en el lote 1 b.

2.3 Tratamientos

2.3.1 A escala de la comunidad

Se compararon en cada comunidad tres tratamientos:

Control: Frecuencia de defoliación de 550 ± 50 °C-días para las tres comunidades. No incluyó fertilización fosforada, enmienda ni intersembra de leguminosa.

Manejo de bajos insumos: Frecuencia de defoliación de 550 ± 50 °C-días y fertilización fosforada (con superfosfato triple de calcio -SPT-) para llevar el nivel de fósforo edáfico a 5 ppm en las tres comunidades por igual.

Manejo sitio-específico: Se aplicó a cada comunidad la combinación de prácticas agronómicas requeridas en función de sus limitantes. En la comunidad dominada por festuca alta se intersembró al voleo trébol blanco (300 semillas viables.m⁻²) y la frecuencia de defoliación fue determinada por la vida media foliar de festuca (550 ± 50 °C-días, Colabelli et al. 1998). En la comunidad de raigrás-sporobolus se intersembró al voleo lotus tenuis (300 semillas viables.m⁻²) y la defoliación durante fines de otoño y principios de primavera fue en función de la vida media foliar de raigrás anual (350 ± 50 °C-días, Agnusdei 1999) y desde mediados de primavera hasta mediados de otoño fue en función de la vida media foliar de sporobolus (700 ± 50 °C-días, Agnusdei 1999). En la comunidad dominada por agropiro alargado se intersembró melilotus (300 semillas viables.m⁻²) y agropiro alargado (300 semillas viables.m⁻²) y la defoliación fue en función de la suma térmica para agropiro (800 ± 50 °C-días, Colabelli et al. 1998). En esta comunidad se aplicó al voleo yeso para bajar el pH y corregir el porcentaje de sodio intercambiable. Para llevar el PSI de 73 a 5 % era necesario aplicar 33.000 kg yeso.ha⁻¹. Como esta práctica sería muy costosa para realizarla de una sola vez, se siguió la recomendación de Taboada y Lavado (2009) de usar dosis menores y repetir la práctica todos los años. Se aplicó yeso agrícola en una dosis equivalente a 3.000 kg yeso.ha⁻¹ el día 6 de mayo de 2015 en la comunidad de agropiro. En las tres comunidades se elevó el nivel de fósforo a 10 ppm. La fertilización al voleo con superfosfato triple de calcio se realizó el 6 de mayo del 2015. Las dosis empleadas de SPT para elevar el nivel de fósforo a 5 y 10 ppm fueron de 109 y 219, 90 y 180, 84 y 169 kg.ha⁻¹ para FA, R-S y AA, respectivamente.

En las tres comunidades las leguminosas se intersembraron al voleo el 14 de mayo del 2015. En esta misma fecha se incorporó el agropiro en la comunidad respectiva (Anexo, tabla 12).

En la comunidad raigrás-sporobolus, utilizando el criterio de corrección del PSI, hubiera correspondido aplicar yeso para bajarlo de 32 a 5 %. Sin embargo, teniendo en cuenta que las especies dominantes eran naturalizadas y de buena aptitud forrajera, y que el pH del suelo era alrededor de 8, se optó por no aplicar esta enmienda.

La fertilización nitrogenada no se incorporó al experimento para no favorecer a las gramíneas en detrimento de las leguminosas (Pacente 2014) y porque en estos ambientes se presentan condiciones favorables para la lixiviación de nitratos al agua subterránea (Sardi et al. 2007). Además, se buscó que el aporte de nitrógeno provenga de las leguminosas a través de la fijación biológica de nitrógeno (Díaz Zorita 2002).

2.3.2 A escala del lote

En función de los resultados obtenidos en cada comunidad y tratamiento, se realizó una simulación para estimar la PPNA total y la oferta de proteína bruta a escala del lote bajo cada tratamiento de manejo con distintas contribuciones relativas de cada comunidad. Por lo tanto, el valor de ambas variables estaba constituido por la suma del valor individual obtenido en las tres comunidades, FA, R-S y AA, en función de su porcentaje de ocupación simulado. Para generar repeticiones en cada comunidad, se usaron en la simulación los valores obtenidos, de PPNA y oferta de PB, de cada tratamiento y bloque. Los distintos porcentajes de ocupación o contribuciones relativas de cada comunidad fueron 0; 20; 40; 60 y 80 %, resultando 18 situaciones diferentes (Tabla 3).

Tabla 3: Porcentajes de ocupación de cada comunidad en 18 situaciones de pastizal compuesto por comunidades de festuca alta, raigrás-sporobolus y agropiro alargado.

Pastizal	Comunidades		
	Festuca alta	Raigrás-Sporobolus	Agropiro alargado
1	80 %	20 %	--
2	80 %	--	20 %
3	60 %	40 %	--
4	60 %	20 %	20 %
5	60 %	--	40 %
6	40 %	60 %	--
7	20 %	80 %	--
8	20 %	60 %	20 %
9	--	80 %	20 %
10	--	60 %	40 %
11	40 %	--	60 %
12	20 %	20 %	60 %
13	20 %	--	80 %
14	--	40 %	60 %
15	--	80 %	20 %
16	40 %	40 %	20 %
17	40 %	20 %	40 %
18	20 %	40 %	40 %

-- no se encuentra presente en el pastizal simulado

Además de los tres tratamientos de manejo: sitio-específico, bajos insumos y control, donde en la simulación se ponderó la PPNA y la oferta de PB obtenida en cada tratamiento de manejo por la contribución relativa de cada comunidad según cada situación, se incorporó una combinación a escala del lote del tratamiento que resultó más eficiente en cada comunidad en relación al uso de insumos, que se denominó “manejo sitio-específico eficiente”. Cuando no hubo diferencias significativas en la PPNA, se eligió en cada comunidad el manejo que requirió menos insumos. Por lo tanto, este tratamiento resultó de realizar prácticas en la comunidad de festuca bajo un manejo de bajos insumos y en las comunidades de raigrás-sporobolus y agropiro bajo un tratamiento control. Para estimar la PB del forraje en los cortes en los cuales no fue

determinada, se consideró que la variación del porcentaje de PB ofrecida entre cortes dependió únicamente del aporte de las leguminosas ya que, si bien la disponibilidad de N en el suelo afecta el porcentaje de PB del forraje, como no se fertilizó con N, se asume que éste no varió entre cortes. Como en el manejo de bajos insumos y control no había presencia de leguminosas, se calculó la oferta de PB con los datos obtenidos en laboratorio de un solo corte. En el manejo sitio-específico de cada comunidad, la proporción de leguminosas varió entre cortes. Por lo tanto, utilizando los datos de la proporción de PB del corte analizado y de la proporción de leguminosas de dicho corte de las tres comunidades, se realizó una regresión cuadrática y se obtuvo la siguiente ecuación: $PB (\%) = 8,0718 + 0,1746 * x - 0,0021 * x^2$ con un $r^2 = 0,6744$, para estimar la proporción de PB en los cortes que no fue determinada (Fig. 4).

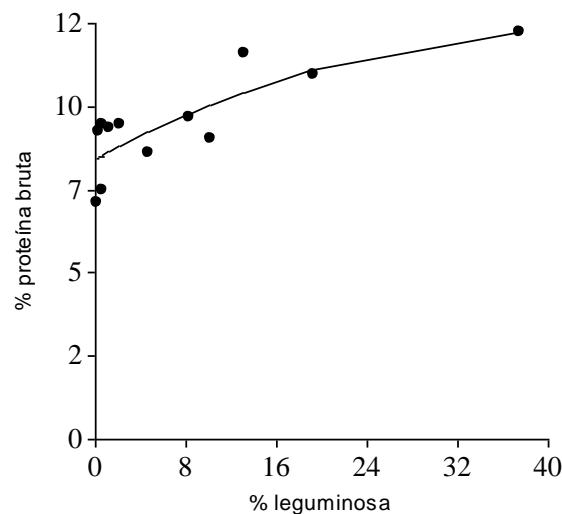


Figura 4: Regresión cuadrática para estimar el % de proteína bruta en los cortes del manejo sitio-específico.

2.4 Variables respuesta

La evaluación de la PPNA se realizó mediante corte con tijera manual a cinco centímetros de altura, con la frecuencia de corte determinada para cada tratamiento y comunidad. Se efectuó un primer corte de emparejamiento a todas las parcelas el 17 de abril del 2015 y a partir de entonces se estableció la frecuencia de corte según comunidad y tratamiento. La superficie de muestreo fue de un metro cuadrado y se tomaron dos muestras por parcela. El forraje cosechado se colocó en bolsas de nylon cerradas de manera hermética para su posterior procesamiento en el laboratorio. Luego de registrar el peso fresco, el material se clasificó en los siguientes componentes: gramínea, leguminosa, maleza y material muerto. Se obtuvo el peso fresco de cada componente y la totalidad del material se colocó en estufa a 65 °C hasta peso seco constante. El período experimental abarcó un año completo para incluir las cuatro estaciones. La PPNA anual y el total de cada componente se determinaron a partir de la sumatoria de los cortes de forraje realizados durante el período experimental (del 17 de abril del 2015 al 16 de abril del 2016).

Se contaron las plántulas de leguminosas en muestras correspondientes al tratamiento manejo sitio-específico donde se sembró a una densidad superior al total de la parcela. En ellas se colocaron dos marcos de 0,15 x 0,35 m, en donde se sembraron 45 semillas de la leguminosa correspondiente para cada comunidad, y se realizaron los recuentos a los 30, 60, 120, 180 y 360 días desde la siembra (dds).

Se determinó la calidad de forraje en la fecha de corte en el que el aporte de la leguminosa fue máximo según cada comunidad. Para la festuca correspondió el cuarto corte, para la de raigrás-sporobolus el quinto corte y para la de agropiro correspondió el tercer corte. Se determinó la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) (Método: Goering y Van Soest 1970 mediante incubador Daisy II ANKOM) y el porcentaje de proteína bruta (PB) por nitrógeno total de Kjeldhal, multiplicando a este último por un factor de 6,25.

En el suelo, se determinó la proporción de N, P, pH, CE, cationes y PSI al inicio y fin del periodo experimental con los siguientes métodos, respectivamente: nitrógeno Kjeldhal, fósforo extractable a través de colorimetría (pH < 7,6 Bray y Kurtz N°1 y pH > 7,6 Olsen); pH en agua 1:2,5 método potenciométrico, conductividad eléctrica en agua 1:2,5 método conductimétrico, calcio y magnesio intercambiable a través de volumetría complejimétrica de Schollenberger y Simon, potasio y sodio intercambiable mediante fotometría de llama de Schollenberger y Simon, capacidad intercambio catiónico a través de saturación de amonio de Schollenberger y Simon y el PSI mediante fórmula $((Na^{+2}/CIC)*100)$. Las muestras de suelo se extrajeron de los primeros 20 cm, ya que en los primeros 10 cm de suelo se encuentra el 64 % de la biomasa radical de las comunidades del pastizal (Sala et al. 1981a).

2.5 Análisis estadístico

Las variables bajo estudio se evaluaron mediante análisis de varianza con arreglo de medidas repetidas en el tiempo, con un nivel de significancia del 5 % y las medias se compararon con la prueba LSD de Fisher, siendo el factor principal el manejo (tratamiento) a tres niveles: sitio-específico, bajos insumos y control, bajo un modelo lineal y mixto. En las comunidades que hubo interacción entre el manejo y los cortes, las medias se compararon con la prueba de Di Rienzo, Guzmán y Casanoves (DGC) con un nivel de significancia del 5 %. Las medias de las siguientes variables edáficas: pH, N, P, CE y PSI, medidas al final del periodo experimental se las evaluó con el análisis de la varianza teniendo en cuenta un nivel de significancia del 5 % y las medias se compararon con la prueba LSD de Fisher. Las variables obtenidas de la simulación de manejo a escala del lote se analizaron con un análisis de la varianza. En este último caso, el modelo constó de dos factores, siendo el principal el tratamiento de manejo, con cuatro niveles: sitio-específico, bajos insumos, control y sitio-específico eficiente. Las medias de este factor se compararon con la prueba LSD de Fisher con un nivel de significancia del 5 %. El factor secundario fue la contribución relativa con 18 niveles, como este es un valor elevado, las medias se compararon con la prueba de DGC con un nivel de significancia del 5 %. Los análisis se realizaron con el paquete estadístico del InfoStat (Di Rienzo et al. 2016).

Capítulo III: RESULTADOS

3.1 Producción primaria neta aérea

En la comunidad de festuca, la PPNA total y la contribución del componente gramínea fue superior en el tratamiento de bajos insumos con respecto al control, no diferenciándose del sitio-específico. Los tratamientos no produjeron cambios significativos en los componentes material muerto y malezas. En la comunidad de raigrás-sporobolus no hubo diferencias entre los tratamientos en ninguno de los componentes ni en la PPNA total. En la comunidad de agropiro, la PPNA total y la contribución del componente gramínea resultó superior bajo el tratamiento sitio-específico con respecto al de bajos insumos, no diferenciándose estos del tratamiento control. En todas las comunidades aparece una contribución escasa de las leguminosas en el tratamiento sitio-específico como resultado de su incorporación, las que no estuvieron presentes en los otros dos tratamientos (Tabla 4).

En términos de contribución porcentual, el componente mayoritario de las tres comunidades del pastizal y de los tres tratamientos fue la gramínea. Durante el período del experimento, los tratamientos no modificaron estadísticamente la contribución de cada componente. Las gramíneas aportaron entre un 90 y 100 % del total del forraje presente, las leguminosas entre un 0 y 6 %, las malezas entre un 0 y 5 % y el material muerto entre un 0 y 2 % (Tabla 5).

Tabla 4: Producción primaria neta aérea anual total (PPNA) y contribución de cada componente de cada comunidad bajo los tres tratamientos de manejo.

Comunidad	Tratamientos	PPNA (kg MS.ha ⁻¹ .año ⁻¹)				
		Total	Gramíneas	Leguminosas	Malezas	Material muerto
Festuca	Sitio-específico	4.274 (±310) ab	4.100 (±335) ab	64 (±34)	40 (±11)	71 (±10)
	Bajos insumos	4.712 (±305) a	4.590 (±319) a	5 (±2)	58 (±31)	60 (±12)
	Control	3.627 (±240) b	3.495 (±236) b	0	59 (±18)	73 (±12)
Raigrás-Sporobolus	Sitio-específico	2.656 (±316)	2.437 (±314)	57 (±18)	131 (±29)	31 (±12)
	Bajos insumos	2.572 (±281)	2.458 (±280)	0	113 (±23)	0
	Control	2.804 (±487)	2.722 (±478)	0	82 (±22)	0
Agropiro	Sitio-específico	2.787 (±170) a	2.633 (±171) a	154 (±77)	0,3 (±0,3)	0
	Bajos insumos	2.058 (±200) b	2.049 (±197) b	0	9 (±5)	0
	Control	2.392 (±190) ab	2.384 (±188) ab	0	8 (±6)	0

Medias con letras distintas en las columnas de cada comunidad indican diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0,05$). Entre paréntesis se encuentra el error estándar. El componente leguminoso por estar ausente en muchas parcelas, correspondientes a los tratamientos manejo de bajos insumos y control, se excluyó de los contrastes estadísticos.

Tabla 5: Contribución porcentual de los componentes presentes en la producción primaria neta aérea total en cada tratamiento y comunidad

Comunidad	Tratamientos	Gramíneas (%)	Leguminosas (%)	Malezas (%)	Material muerto (%)
Festuca	Sito-específico	95,9	1,5	0,9	1,7
	Bajos insumos	97,4	0,1	1,2	1,3
	Control	96,4	0,0	1,6	2,0
Raigrás-Sporobolus	Sito-específico	91,8	2,2	4,9	1,2
	Bajos insumos	95,6	0,0	4,4	0,0
	Control	97,1	0,0	2,9	0,0
Agropiro	Sito-específico	94,5	5,5	0,0	0,0
	Bajos insumos	99,5	0,0	0,5	0,0
	Control	99,7	0,0	0,3	0,0

La tasa de crecimiento en la comunidad de festuca alta siguió un patrón bimodal y fue afectado por el tratamiento aplicado, aunque no hubo interacción entre los tratamientos y la fecha de corte (Fig. 5 a). La tasa de crecimiento media anual de forraje bajo el tratamiento de manejo de bajos insumos fue superior a la del tratamiento control, mientras que la del tratamiento sitio-específico no se diferenció de los anteriores (Tabla 6). La máxima tasa de crecimiento se alcanzó en noviembre y diciembre, con un valor, promedio, de $19,9 \text{ kg MS.ha}^{-1}.\text{día}^{-1}$ y se registró otro pico de menor magnitud, de $17 \text{ kg MS.ha}^{-1}.\text{día}^{-1}$, en marzo, mientras que los valores mínimos ocurrieron a mediados de julio y agosto y en abril, al final del período experimental, con valores inferiores a $3,5 \text{ kg MS.ha}^{-1}.\text{día}^{-1}$ (Tabla 6).

En la comunidad de raigrás-sporobolus hubo un efecto significativo de la interacción entre tratamiento y fecha de corte sobre la tasa de crecimiento. Mientras los tratamientos bajos insumos y control mostraron un patrón bimodal, con una máxima tasa de crecimiento a fin de primavera y otra de menor magnitud en otoño, el tratamiento sitio-específico tuvo un patrón unimodal, con una máxima tasa de crecimiento en primavera (Fig. 5 b). La máxima tasa de crecimiento en primavera bajo el tratamiento sitio-específico resultó de $25,2 \text{ kg MS.ha}^{-1}.\text{día}^{-1}$, y no se diferenció estadísticamente de los otros tratamientos, que en promedio fue de $20,1 \text{ kg MS.ha}^{-1}.\text{día}^{-1}$. Bajo el tratamiento sitio-específico, la tasa de crecimiento en pleno verano fue superior a la de los tratamientos de bajos insumos y control (Fig. 5 b), alcanzando valores de $4,4$ vs $0,4$ y $0,5 \text{ kg MS.ha}^{-1}.\text{día}^{-1}$, respectivamente. Sin embargo, estos dos últimos tratamientos tuvieron otro pico de crecimiento de menor magnitud en marzo, de $10,2 \text{ kg MS.ha}^{-1}.\text{día}^{-1}$, que resultó superior a la tasa de crecimiento del tratamiento sitio-específico, que fue de $3,3 \text{ kg MS.ha}^{-1}.\text{día}^{-1}$ (Fig. 5 b).

La comunidad de agropiro respondió de manera similar a la de raigrás-sporobolus. La tasa de crecimiento fue afectada por la interacción entre tratamiento y fecha de corte, los tratamientos de bajos insumos y control mostraron un patrón bimodal, con una máxima tasa de crecimiento entre fin de primavera y mediados de verano y otra de menor magnitud en otoño, el tratamiento sitio-específico tuvo un patrón unimodal, con una máxima tasa de crecimiento entre fin de primavera y mediados de verano (Fig. 5 c). En los tres tratamientos la máxima tasa de crecimiento, fue similar, con un valor promedio de $16 \text{ kg MS.ha}^{-1}.\text{día}^{-1}$.

Tabla 6: Tasa de crecimiento de la comunidad de festuca según tratamiento y fecha de corte.

		Tasa de crecimiento (kg MS.ha ⁻¹ .día ⁻¹)
Tratamientos	Sitio-específico	12,2 (±1,5) ab
	Bajos insumos	13,1 (±1,5) a
	Control	10,5 (±1,2) b
Fecha de corte	17/06/2015	7,4 (±0,6) c
	02/09/2015	3,4 (±0,3) d
	05/11/2015	18,1 (±1,9) ab
	14/12/2015	21,7 (±0,8) a
	18/01/2016	16,5 (±1,8) b
	15/02/2016	8,5 (±1,8) c
	21/03/2016	17,0 (±1,4) b
	16/04/2016	3,0 (±0,6) d

Medias con letras distintas en las columnas de cada tratamiento y de cada fecha de corte indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$). Entre paréntesis se encuentra el error estándar.

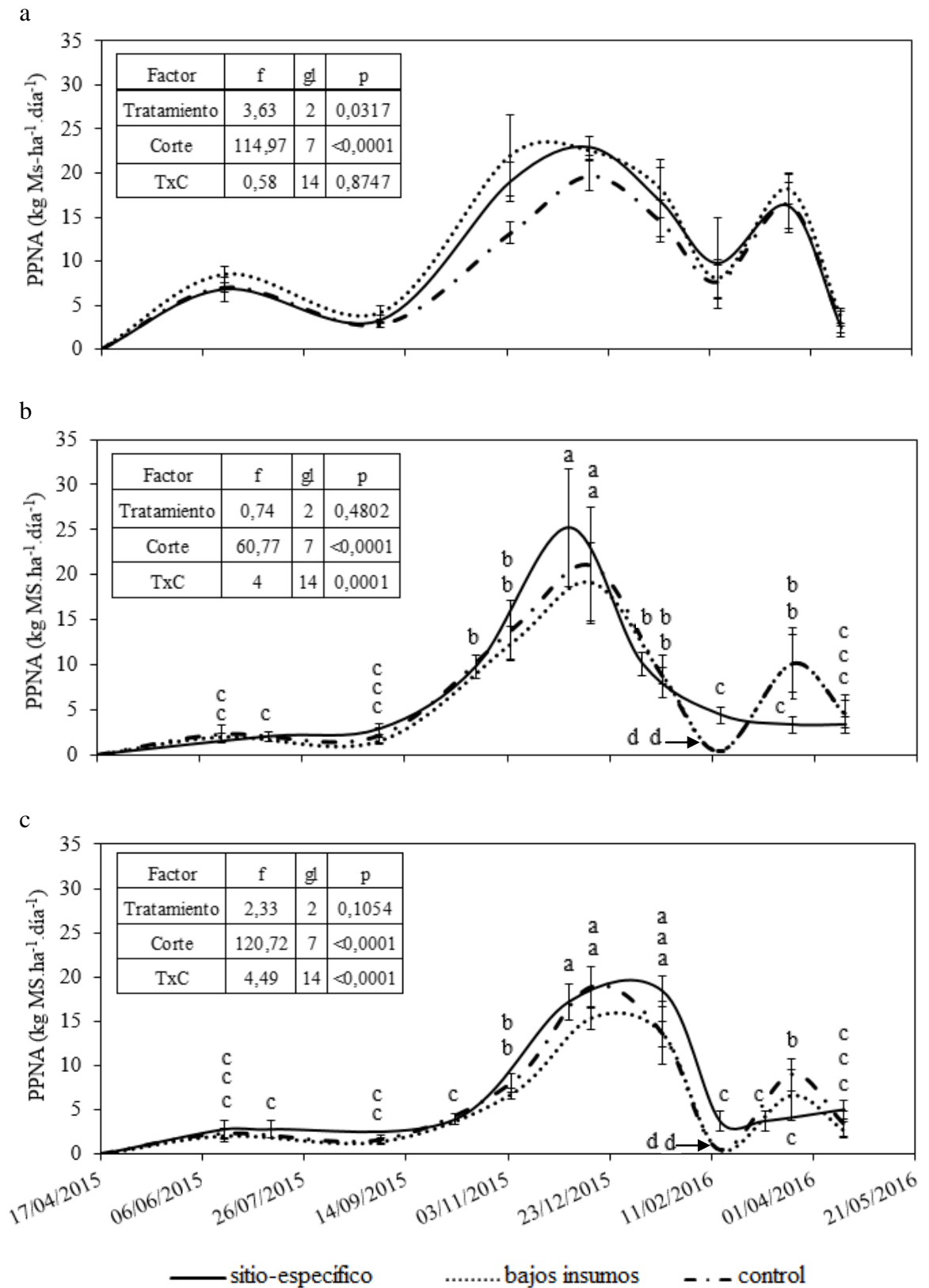


Figura 5: Distribución de la producción primaria neta aérea total, expresada como tasa de crecimiento $\text{kg Ms} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$, en las comunidades de festuca (a), de raigrás-sporobolus (b) y de agropyro (c). Medias con letras distintas indican diferencias significativas para la interacción tratamientos x corte ($p \leq 0,05$).

3.2 Contribución porcentual de los componentes en cada corte

La contribución porcentual de cada componente a lo largo del periodo experimental evidencia que las gramíneas mantuvieron su participación por encima del 90 % en todas las comunidades. Excepto en los cortes quinto y sexto en las comunidades de festuca y raigrás-sporobolus, cuando se acumuló entre un 7 y 18 % de material muerto, constituido casi exclusivamente por gramíneas (Tabla 7 a, b, c).

En los tratamientos control y de bajos insumos de las tres comunidades, la presencia de las leguminosas fue nula. En la comunidad de festuca, en el tratamiento sitio-específico, el trébol blanco sólo participó en el tercero, cuarto y quinto corte, correspondiente al período comprendido entre septiembre y mediados de enero (Tabla 7 a). En la comunidad de raigrás-sporobolus, el *lotus tenuis* también hizo su contribución en los cortes tercero, cuarto y quinto (Tabla 7 b) mientras que en la comunidad de agropiro alargado, en el tratamiento sitio-específico, el *melilotus* solamente aportó en el tercero y cuarto corte (Tabla 7 c), período comprendido entre principios de octubre y mediados de enero.

En todas las comunidades, las malezas nunca superaron el 10 % en ninguno de los cortes (Tabla 7 a, b, c).

Tabla 7: Contribución porcentual de los componentes a lo largo del periodo experimental en la comunidad de festuca (a), raigrás sporobolus (b) y agropiro (c)

a. Festuca

Tratamiento	Componente	Contribución porcentual de cada componente (%) por corte							
		1 ^{er}	2 ^{do}	3 ^{er}	4 ^{to}	5 ^{to}	6 ^{to}	7 ^{mo}	8 ^{vo}
Sitio-específico	Gramínea	100,0	100,0	97,2	93,7	90,3	90,5	99,7	100,0
	Leguminosas	0,0	0,0	2,3	3,8	0,3	0,0	0,0	0,0
	Malezas	0,0	0,0	0,5	2,5	1,6	0,3	0,3	0,0
	Material muerto	0,0	0,0	0,0	0,0	7,9	9,1	0,0	0,0
Bajos insumos	Gramínea	100,0	100,0	99	97,1	90,5	90,6	99,9	100,0
	Leguminosas	0,0	0,0	0,0	0,4	0,2	0,0	0,0	0,0
	Malezas	0,0	0,0	1,0	2,5	2,5	1,8	0,1	0,0
	Material muerto	0,0	0,0	0,0	0,0	6,7	7,7	0,0	0,0
Control	Gramínea	100,0	100,0	99,4	96,5	87,9	85,9	98,6	100,0
	Leguminosas	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Malezas	0,0	0,0	0,6	3,5	3,1	1,3	1,4	0,0
	Material muerto	0,0	0,0	0,0	0,0	9,0	12,9	0,0	0,0

b. Raigrás-sporobolus

		Contribución porcentual de cada componente (%) por corte							
Tratamiento	Componente	1 ^{er}	2 ^{do}	3 ^{er}	4 ^{to}	5 ^{to}	6 ^{to}	7 ^{mo}	8 ^{vo}
Sitio-específico	Gramínea	100,0	100,0	90,4	93,9	83,4	76,6	97,6	--
	Leguminosas	0,0	0,0	1,3	1,6	9,2	0,0	0,0	--
	Malezas	0,0	0,0	8,3	4,6	7,4	5,2	2,4	--
	Material muerto	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,1	0,0	--
Bajos insumos	Gramínea	100,0	100,0	94,2	96,6	92,0	100,0	96,3	96,9
	Leguminosas	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
	Malezas	0,0	0,0	5,8	3,4	8,0	0,0	3,7	3,1
	Material muerto	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Control	Gramínea	100,0	100,0	94,8	97,5	96,7	100,0	100,0	98,1
	Leguminosas	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Malezas	0,0	0,0	5,2	2,5	3,3	0,0	0,0	1,9
	Material muerto	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

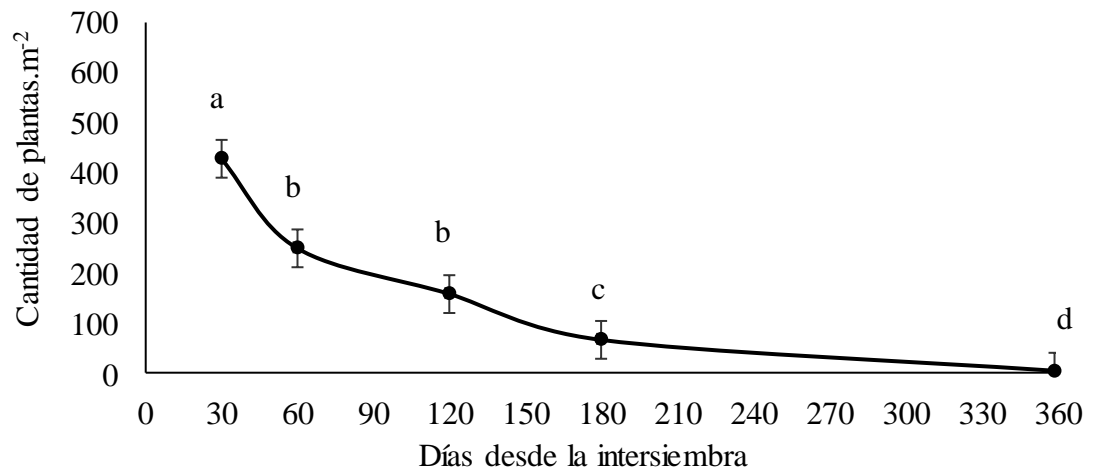
c. Agropiro

Tratamiento	Componente	Contribución porcentual de cada componente (%) por corte							
		1 ^{er}	2 ^{do}	3 ^{er}	4 ^{to}	5 ^{to}	6 ^{to}	7 ^{mo}	8 ^{vo}
Sitio-específico	Gramínea	100,0	100,0	87,8	99,1	100,0	100,0	--	--
	Leguminosas	0,0	0,0	12,2	0,9	0,0	0,0	--	--
	Malezas	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	--	--
	Material muerto	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	--	--
Bajos insumos	Gramínea	100,0	100,0	98,7	99,7	99,7	100,0	100,0	100,0
	Leguminosas	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Malezas	0,0	0,0	1,4	0,3	0,3	0,0	0,0	0,0
	Material muerto	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Control	Gramínea	100,0	100,0	99,1	99,7	99,8	100,0	100,0	100,0
	Leguminosas	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Malezas	0,0	0,0	0,9	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0
	Material muerto	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

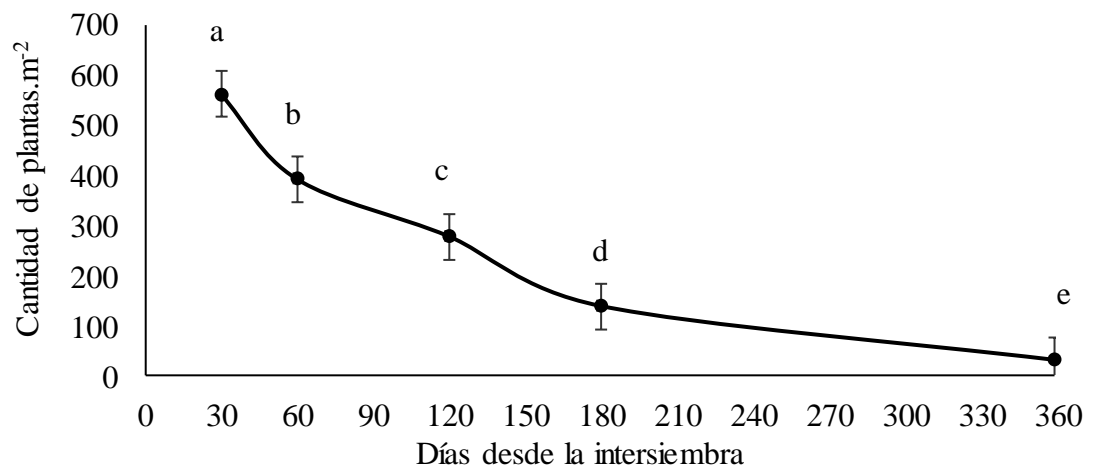
3.3 Leguminosas

La emergencia de las leguminosas intersembradas en el tratamiento sitio-específico alcanzó valores de 429, 562, 438 plántulas.m⁻² de trébol blanco, lotus tenuis y trébol de olor, respectivamente, en el primer recuento (Fig. 6 a, b, c). A partir de los 30 días desde la siembra, la mortandad de plántulas de trébol blanco en la comunidad de festuca alta y de lotus tenuis en la comunidad de raigrás-sporobolus fue significativa (Fig. 6 a y b), mientras que en la comunidad de agropiro, la mortandad de melilotus comenzó a ser significativa a partir de los 60 días desde la intersembradura (Fig. 6 c). Al año de la intersembradura, en base a la cantidad de plántulas emergidas a los 30 días, se perdieron el 99 % de plántulas de trébol blanco y de melilotus (Fig. 6 a y c) y el 94 % de las de lotus tenuis (Fig. 6 b).

a. Comunidad de festuca



b. Comunidad de raigrás-sporobolus



c. Comunidad de agropiro

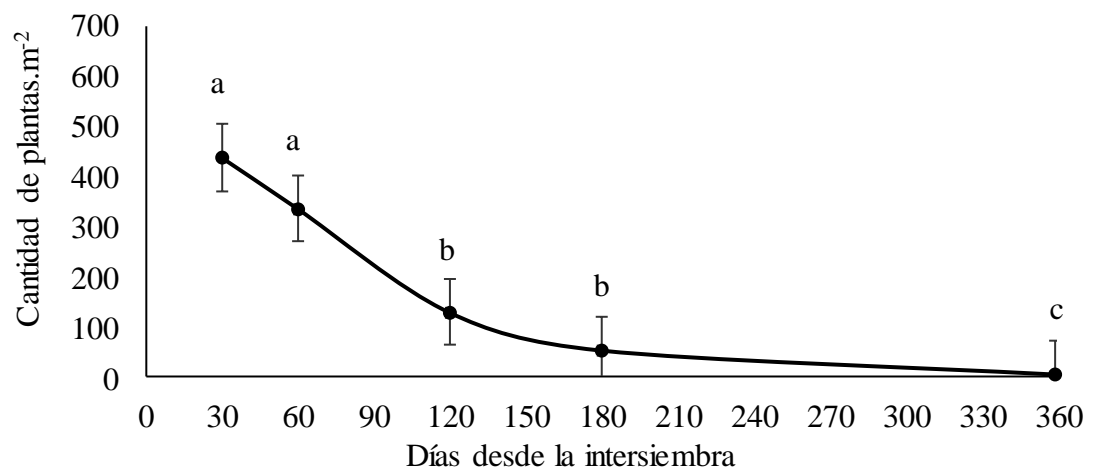


Figura 6: Evolución del número de plantas intersembradas de trébol blanco, lotus y melilotus en las comunidades de a) festuca alta, b) raigrás-sporobolus y c) agropiro alargado, respectivamente. Medias dentro de cada gráfico con letras distintas indican diferencias significativas entre fechas de recuento ($p \leq 0,05$).

3.4 Agropiro

Con la intersembra de agropiro, en el primer recuento en los marcos de muestreo, se lograron 395 plántulas. m^{-2} y al segundo recuento las plántulas se incrementaron en un 20 %. A partir de los 60 dds, comenzó la mortandad y a los 120 dds se registró una pérdida del 82 % con respecto al segundo recuento, siendo esta diferencia significativa. Entre los 120 dds y los 180 dds la cantidad de plantas permaneció constante. Al cumplirse un año de la intersembra se perdieron un 81% de plantas con respecto a las logradas a los 60 dds (Fig. 7).

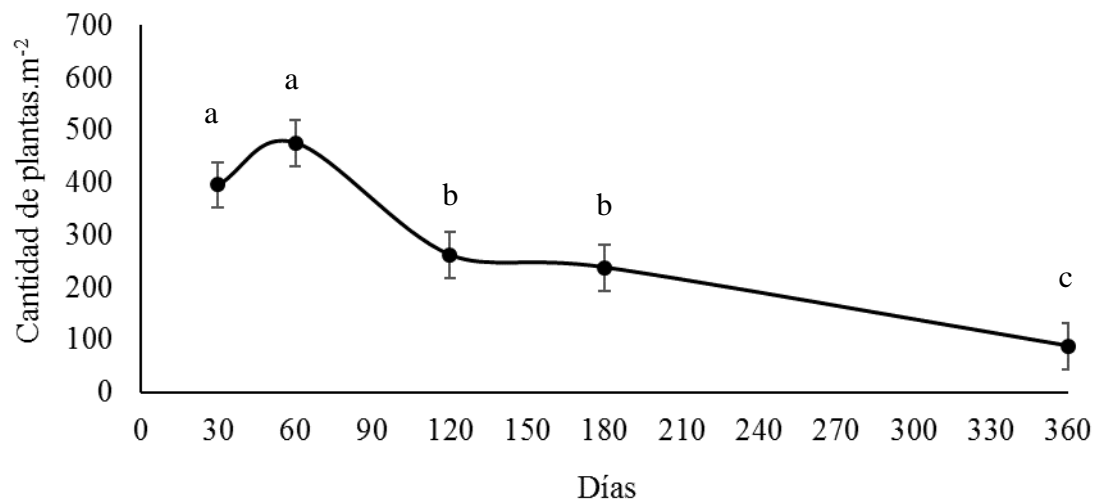


Figura 7: Evolución del número de plantas de agropiro intersembradas en un Natracualf típico fase erosionada. Medias con letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

3.5 Calidad del forraje

La digestibilidad del forraje fue similar entre los tratamientos en las tres comunidades, en el corte evaluado. En las comunidades de FA, R-S y AA, la digestibilidad promedio de los tratamientos fue de 73; 67 y 76 %, respectivamente. Como la producción de materia seca fue similar entre los tratamientos, también lo fue la oferta de la materia seca digestible en las comunidades de festuca y de raigrás-sporobolus, que resultó en promedio de: 62 y 22 g.m⁻², respectivamente (Fig. 8 a y b). En cambio, en la comunidad de agropiro, la producción de materia seca fue mayor bajo el tratamiento manejo sitio-específico que en los tratamientos de bajos insumos y control, por lo tanto la oferta de materia seca digestible también fue superior, resultando de: 74 vs 35 y 39 g.m⁻² (Fig. 8 c).

El porcentaje de proteína bruta del forraje tampoco fue afectado significativamente por los tratamientos en la comunidad de festuca ni en la comunidad de agropiro, siendo el porcentaje de PB, en promedio, de: 9,1 y 8,8 %, respectivamente. En la comunidad de raigrás-sporobolus el porcentaje de PB fue superior en el tratamiento de manejo sitio-específico respecto del control y del de bajos insumos ($p=0,034$), que fueron de: 9,3 vs. 7,6 y 7,4 %, respectivamente. En las tres comunidades, al afectar estos valores por la producción de materia seca para obtener la oferta de PB del forraje, la oferta de PB resultó superior bajo el tratamiento de manejo sitio-específico (Fig. 8 d, e y f). En la comunidad de festuca, la oferta de PB fue un 30 % mayor en el manejo sitio-específico y en el de bajos insumos que en el tratamiento control (Fig. 8 d). En la comunidad de raigrás-sporobolus, la oferta de PB en el manejo sitio-específico fue un 50 % superior que en los otros dos tratamientos (Fig. 8 e) y en la comunidad de agropiro fue un 80 % superior bajo el manejo sitio-específico con respecto de los otros tratamientos. En la comunidad de raigrás-sporobolus los valores de materia seca digestible y de proteína bruta fueron bajos ya que en el quinto corte produjo: 363; 300 y 297 kg MS.ha⁻¹ para los tratamientos sitio-específico, bajos insumos y control, respectivamente.

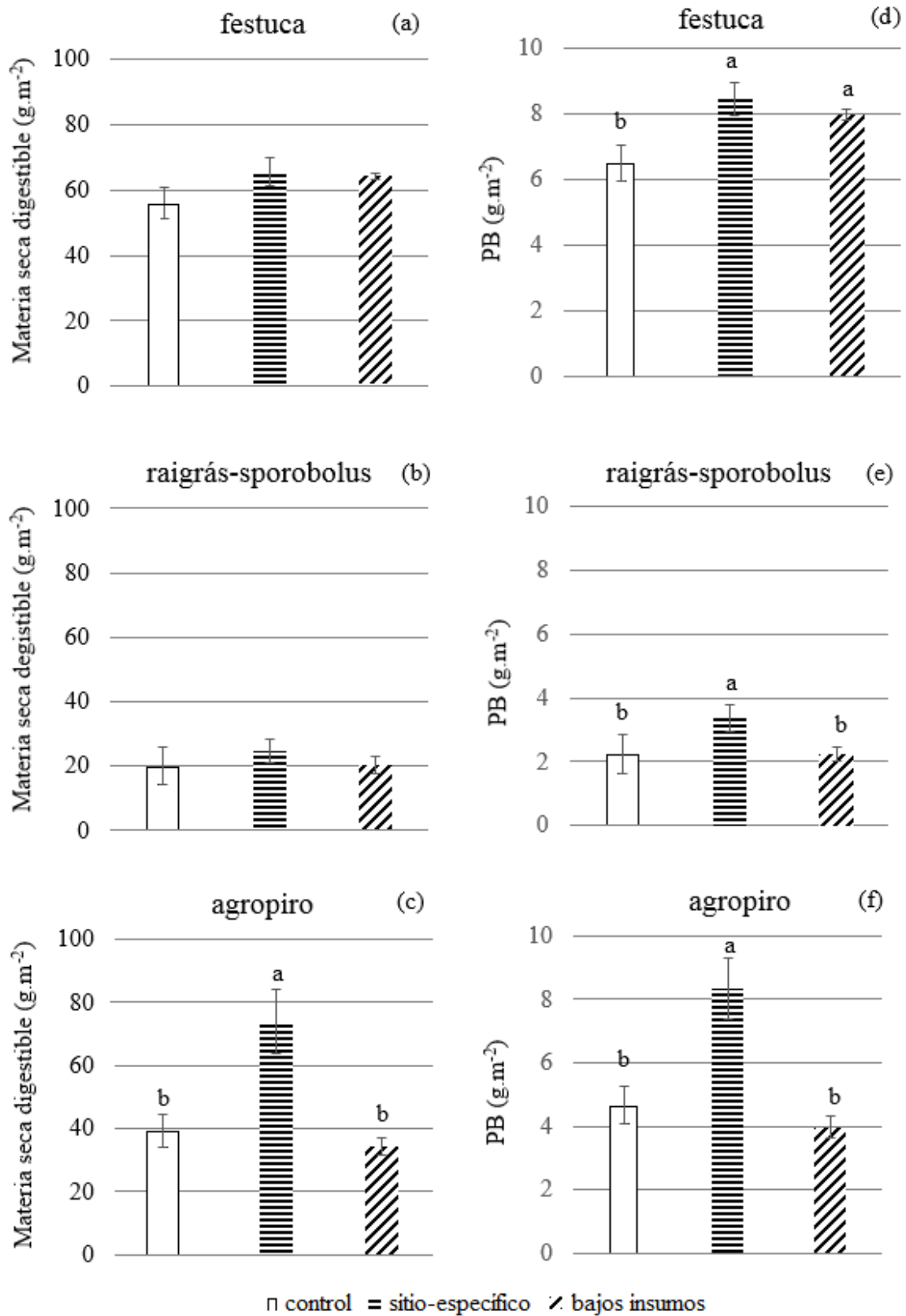


Figura 8: Materia seca digestible y oferta de proteína bruta (PB) de la comunidad de festuca (a y d), de raigrás-sporobolus (b y e) y de agropiro (c y f) bajo los tratamientos de manejo sitio-específico, bajos insumos y control. Medias con letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0,05$).

3.6 Cambios en las variables edáficas

Al finalizar el experimento, Las comunidades presentaron diferencias entre ellas, ($p < 0,05$) a nivel edáfico en las variables de pH y Ce. El suelo de la comunidad FA, presentó un pH de 7,1 y una conductividad eléctrica (Ce) de $0,2 \text{ dS.m}^{-1}$. La comunidad R-S un pH de 8 y una Ce de $0,4 \text{ dS.m}^{-1}$. Mientras que, el suelo más alcalino (pH 9,8) correspondió a la comunidad de AA con un mayor contenido de iones en la solución del suelo ($1,1 \text{ dS.m}^{-1}$). Dichos datos fueron similares a los obtenidos en la calicata realizada al inicio del experimento para describir los suelos. La fertilización fosforada aplicada al tratamiento sitio-específico, que consistió en elevar el P a 10 ppm, sólo incrementó estadísticamente el contenido de P del suelo en las comunidades de festuca y agropiro en un 27 y 30 % respectivamente, en relación con el tratamiento control (Tabla 8). En cambio, el tratamiento de bajos insumos, que consistió elevar el P a 5 ppm, no incrementó significativamente el contenido de P en relación al tratamiento control en ninguna de las comunidades (Tabla 8).

La aplicación de yeso agrícola, al finalizar el experimento, en el tratamiento manejo sitio-específico de la comunidad de agropiro no resultó efectiva para disminuir el pH, el PSI y el contenido de Na^+ respecto al tratamiento control. En promedio, el pH fue de 9,8; el PSI de 81,5 % y el Na^+ de $18,3 \text{ cmol.kg}^{-1}$ (Tabla 8).

Tabla 8: Principales características edáficas al finalizar el período experimental en cada comunidad.

Comunidad	Tratamientos	pH Agua (1:2,5)	Ce dS.m ⁻¹	N g.kg ⁻¹	P mg.kg ⁻¹	Na ⁺ cmol.kg ⁻¹	PSI
Festuca	Sitio-específico	7,3 (±0,7)	0,3 (±0,1)	1,5 (±0,1)	4,1 (±0,2) a	--	--
	Bajos insumos	7,0 (±0,7)	0,2 (±0,1)	1,5 (±0,1)	3,8 (±0,4) ab	--	--
	Control	6,9 (±0,4)	0,2 (±0,1)	1,6 (±0,03)	3,2 (±0,3) b	--	--
Raigrás- Sporobolus	Sitio-específico	7,9 (±0,6)	0,4 (±0,2)	1,2 (±0,1)	3,3 (±0,4)	--	--
	Bajos insumos	8,1 (±0,6)	0,5 (±0,2)	1,1 (±0,2)	2,8 (±0,6)	--	--
	Control	7,9 (±0,5)	0,4 (±0,2)	1,2 (±0,1)	3,4 (±0,4)	--	--
Agropiro	Sitio-específico	9,7 (±0,1)	1,1 (±0,1)	0,5 (±0,04)	3,7 (±0,9) a	18,5 (±1,6)	78,6 (±10,6)
	Bajos insumos	9,8 (±0,1)	1,1 (±0,1)	0,5 (±0,1)	3,6 (±1,0) ab	18,5 (±1,6)	85,2 (±12,6)
	Control	9,8 (±0,04)	1,1 (±0,01)	0,6 (±0,1)	2,8 (±0,7) b	17,9 (±0,4)	80,6 (±6,5)

Sólo en la comunidad de AA se cuantificó el contenido de Na⁺ y el PSI del suelo para evaluar el efecto de la aplicación de yeso agrícola. Medias con letras distintas en las columnas de cada comunidad indican diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0,05$). Entre paréntesis se encuentra el error estándar. -- no se determinó

3.7 Manejo del pastizal natural a escala del lote

Se encontraron diferencias significativas en la PPNA a escala del lote ($p < 0,0001$) entre los tratamientos de manejo cuando la contribución relativa de cada comunidad representaba a la del lote en donde se realizó el experimento (40 % de festuca, 20 % de raigrás-sporobolus y 40 % de agropiro). El manejo sitio-específico eficiente del pastizal, que combinó el tratamiento manejo de bajos insumos para la comunidad de festuca y el tratamiento control para las comunidades de raigrás-sporobolus y agropiro, y el tratamiento sitio-específico tuvieron una producción de forraje superior en un 12% al tratamiento control (Tabla 9). La oferta de proteína bruta no difirió entre los tratamientos de manejos evaluados ($p < 0,0651$), que resultó en promedio de 283 kg PB.ha⁻¹.año⁻¹ (Tabla 9).

Tabla 9: Productividad primaria neta aérea (PPNA) y oferta de proteína bruta (PB) del pastizal compuesto por 40, 20 y 40 % de festuca, raigrás-sporobolus y agropiro, respectivamente.

Tratamientos	PPNA (kg MS.ha ⁻¹ .año ⁻¹)	Oferta PB (kg.ha ⁻¹ .año ⁻¹)
Sitio-específico eficiente	3.403 (± 189) a	305 ($\pm 31,9$)
Sitio-específico	3.355 (± 138) a	287 ($\pm 13,5$)
Bajos insumos	3.223 (± 132) ab	284 ($\pm 16,5$)
Control	2.968 (± 71) b	255 ($\pm 11,9$)

Medias con letras distintas, en cada columnas, indican diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0,05$). Entre paréntesis se encuentra el error estándar.

La PPNA total y la oferta de proteína bruta simulada a escala del lote bajo cada tratamiento (sitio-específico, bajos insumos, control y sitio-específico eficiente) con distintas contribuciones relativas de cada comunidad (0; 20; 40; 60 y 80 %) mostró un efecto significativo del factor principal “tratamiento” (PPNA: $F= 8,55$; $gl= 3$; $p < 0,0001$) (PB: $F= 11,01$; $gl= 3$; $p < 0,0001$), respectivamente y del factor secundario “contribuciones relativa de cada comunidad” (PPNA: $F= 16,96$; $gl= 17$; $p < 0,0001$) (PB: $F= 17,31$; $gl= 17$; $p < 0,0001$), respectivamente, mientras que la interacción entre ellos no fue significativa (PPNA: $F= 0,57$; $gl= 51$; $p=0,990$) (PB: $F= 0,76$; $gl= 51$; $p=0,874$), respectivamente. En el promedio de las 18 situaciones, la PPNA obtenida bajo el manejo sitio-específico eficiente no se diferenció del manejo sitio-específico y resultó superior en un 6 % al manejo de bajos insumos y en un 12 % al tratamiento control, mientras que el tratamiento sitio-específico no se diferenció del manejo de bajos insumos y fue un 10 % superior al tratamiento control, que fue el menos productivo (Fig. 9).

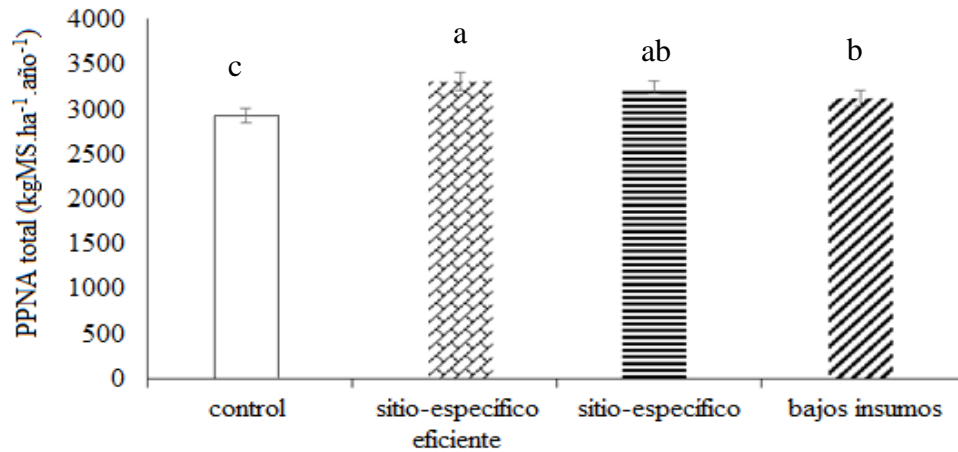


Figura 9: Simulación de la producción primaria neta aérea total, promedio de las dieciocho simulaciones, bajo los distintos tratamientos. Medias con letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0,05$).

A escala del lote, la oferta de PB -promedio de las 18 situaciones- obtenida bajo el manejo sitio-específico eficiente fue superior a los otros tratamientos de manejo, y resultó un 16 % superior al tratamiento control. El tratamiento sitio-específico no se diferenció del manejo de bajos insumos y ambos fueron un 9 % superior al tratamiento control (Fig. 10).

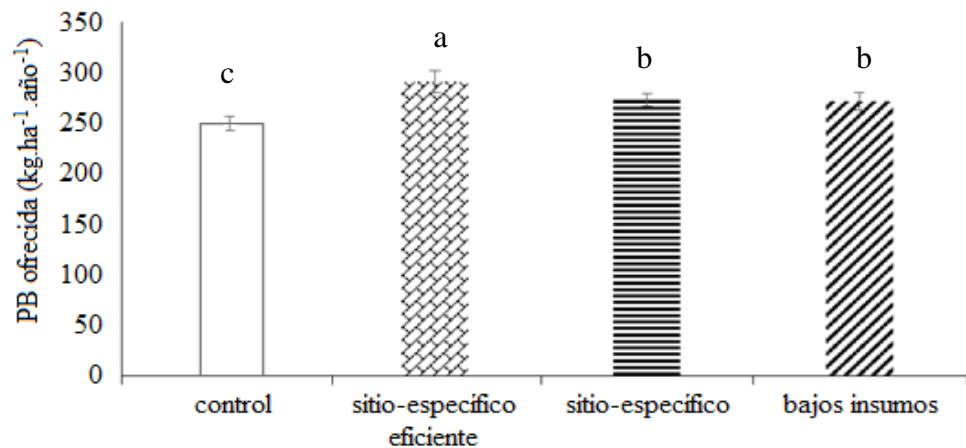


Figura 10: Simulación de la oferta de proteína bruta, promedio de las dieciocho simulaciones, bajo los distintos tratamientos. Medias con letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0,05$).

La PPNA promedio de las cuatro prácticas de manejo resultó superior en las situaciones en donde la comunidad de festuca ocupó un 80 % de la superficie del lote, alcanzando en promedio 3.977 kg MS.ha⁻¹.año⁻¹, mientras que en las situaciones en que esta comunidad estaba ausente rindieron, en promedio, 2.558 kg MS.ha⁻¹.año⁻¹ (Fig. 11).

Al igual que la PPNA total, la mayor cantidad ofrecida de proteína bruta, promedio de las cuatro prácticas de manejo, se obtuvo en los lotes en los cuales la comunidad de festuca predominaba (≥ 60 %). Sin embargo, cuando la festuca participaba en un 80 % fue superior en un 10 % en relación a cuando formaba parte en un 60 % del pastizal. Cuando se omitió en la simulación la comunidad de festuca la oferta de PB fue de 216 kg PB.ha⁻¹.año⁻¹, un 62 % menor con respecto a los lotes en donde la festuca formaba parte en un 80 % (Fig. 12).

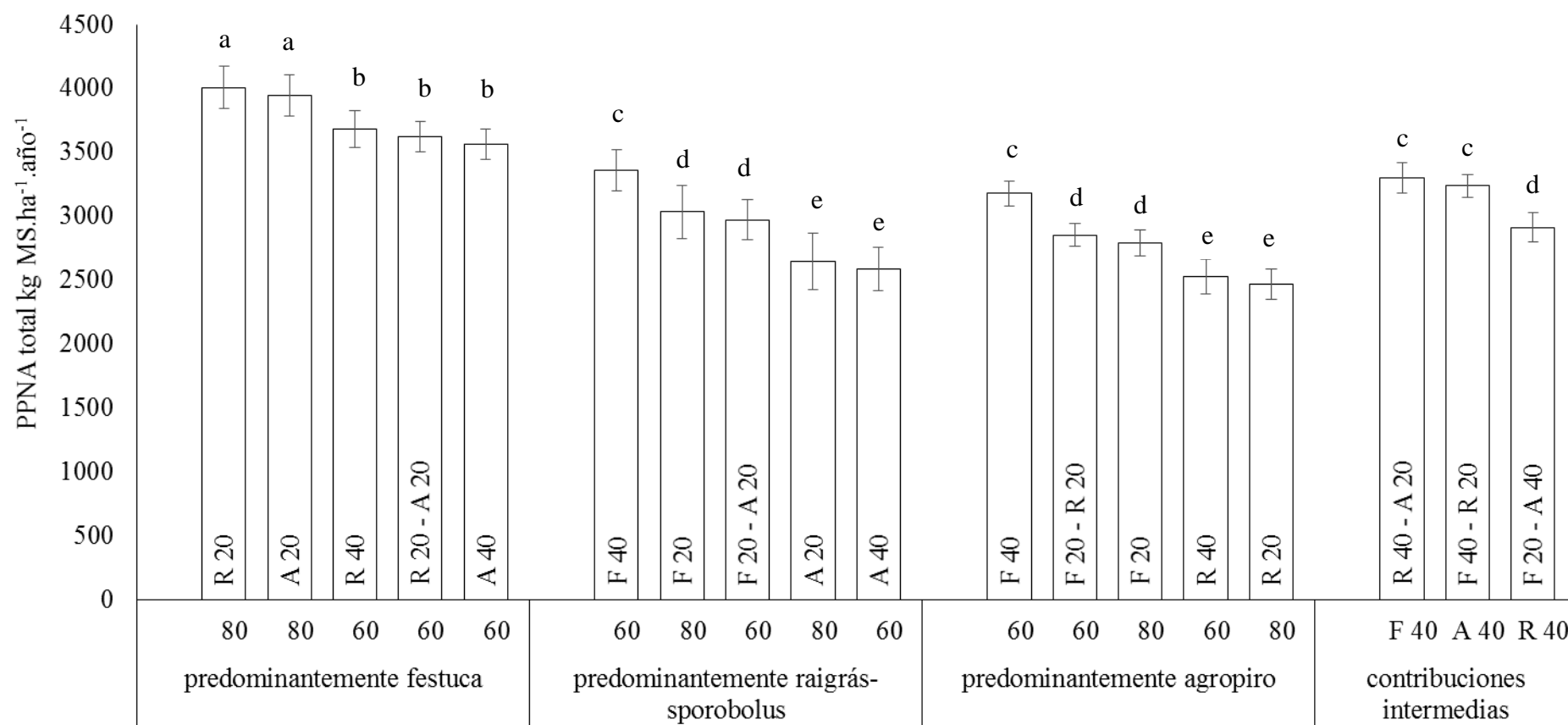


Figura 11: PPNA total a escala del lote, promedio de los cuatro manejos, según la contribución relativa de las comunidades

Contribuciones relativas de cada lote simulado. En abscisa, se encuentran agrupados por la especie de mayor predominio ($\geq 60\%$ de ocupación), el porcentaje restante de la comunidad que conforma el lote se encuentra dentro de cada columna. En donde F: comunidad festuca; R: comunidad raigrás-sporobolus y A: comunidad agropiro. Medias con letras distintas indican diferencias significativas entre contribuciones relativas ($p \leq 0,05$).

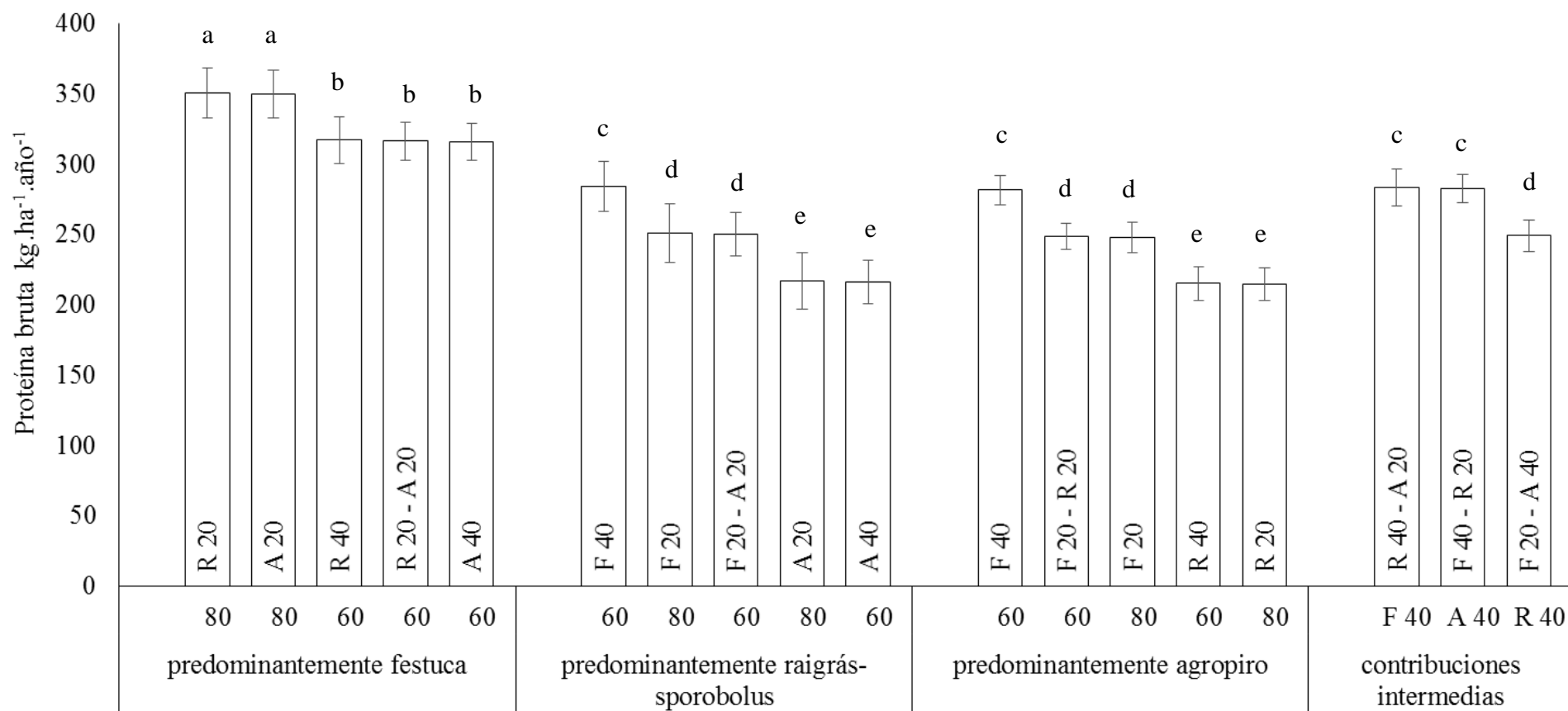


Figura 12: Oferta de proteína bruta a escala del lote, promedio de los cuatro manejos, según la contribución relativa de las comunidades

Contribuciones relativas de cada lote simulado. En abscisa, se encuentran agrupados por la especie de mayor predominio ($\geq 60\%$ de ocupación), el porcentaje restante de la comunidad que conforma el lote se encuentra dentro de cada columna. En donde F: comunidad festuca; R: comunidad raigrás-sporobolus y A: comunidad agropiro. Medias con letras distintas indican diferencias significativas entre contribuciones relativas ($p \leq 0,05$).

Capítulo IV: DISCUSIÓN

A escala de comunidad, con el tratamiento de manejo sitio-específico no se incrementó la PPNA total de cada una de ellas respecto del tratamiento control, pero se produjo un cambio en la distribución de la productividad en las comunidades de raigrás-sporobolus y agropiro. La materia seca digestible ofrecida sólo se incrementó en la comunidad de agropiro, mientras que la oferta de proteína bruta fue superior en todas ellas bajo el manejo sitio-específico. Las leguminosas intersembradas, al igual que el agropiro, se lograron implantar pero no persistieron. Con la fertilización fosforada no se logró incrementar la producción de forraje ni la dotación de P en el suelo en la magnitud esperada. La aplicación de la enmienda para corregir el pH y el PSI fue insuficiente. A escala del lote tanto la PPNA y la proteína bruta ofrecida obtenida con el manejo sitio-específico eficiente resultaron superiores a la del tratamiento control. Por lo tanto, la hipótesis general y las hipótesis específicas se cumplieron parcialmente.

Las prácticas específicas de manejo aplicadas a cada comunidad en función de sus características no fueron efectivas para incrementar la PPNA probablemente debido a que no se pudieron corregir los principales factores limitantes del crecimiento: escasa disponibilidad de P en las tres comunidades y alto pH y Na^+ en la comunidad de agropiro.

En el transcurso del periodo experimental las precipitaciones acumuladas alcanzaron los 1.580 mm, por lo tanto se podría asumir que la disponibilidad hídrica fue adecuada para el crecimiento. Sin embargo, en los suelos Natracuall (comunidades de R-S y AA), la capacidad edáfica de almacenamiento hídrico podría haber estado afectada por las bajas tasas de infiltración y de conductividad hidráulica provocadas por el sodio (Taboada y Lavado 2009). Dicho catión produce la dispersión de las arcillas y posterior oclusión de los poros edáficos. Por lo tanto, una característica particular de los suelos sódicos es causar sequía inducida a las especies que integran la comunidad (Taboada y Lavado 2009) y, probablemente fue una de las causas que impidió incrementar la PPNA en estas comunidades. En la comunidad de raigrás-sporobolus no se aplicó corrector y en la de agropiro la aplicación del yeso fue insuficiente para corregir los valores de sodio. Un pastizal natural no degradado de San Pedro tiene una PPNA potencial anual de $5.040 \text{ kg MS.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$, según la fórmula: $(5 \cdot \text{ppt}) - 290$ (Deregibus 1988) y una precipitación histórica media anual de 1.066 mm. Al tener en cuenta la ppt acumulada durante el período del ensayo, la producción potencial pasa a ser de $7.610 \text{ kg MS.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$. Este último valor es muy superior a la producción obtenida por las comunidades de FA, R-S y AA. La fórmula descripta por Deregibus (1988) es generalista y se puede aplicar a todo el país. Durante et al. (2016), desarrollaron una fórmula más regional, para pastizales de suelos bajos, que se puede aplicar en un rango de precipitaciones de 850-1.000 mm ($\text{PPNA potencial anual} = -3.162 + (8 \cdot \text{ppt})$). Con la máxima ppt que se puede usar en la fórmula (muy similar a la media histórica), la producción estimada del pastizal es de $4.838 \text{ kg MS.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$. Resultado equivalente al simulado por la fórmula de Deregibus (1988) y a la producción de la comunidad de festuca obtenida con los manejos de bajos insumos y sitio-específico ($4.493 \text{ kg MS.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$). La PPNA las comunidades de R-S y AA fueron inferiores a las estimadas por estas dos últimas formulas, lo que podría estar explicado a las características edáficas (Anexo, tabla 11). Scheneiter y Bertín (2011) para una pastura pura de festuca y agropiro alargado, sin el agregado de nitrógeno, reportaron producciones, promedios de varios años, de $5.400 \pm 1.900 \text{ kg MS.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$ y $4.200 \pm 2.100 \text{ kg MS.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$, respectivamente. La PPNA de las comunidades FA y AA se encuentran dentro del rango reportado por estos autores. Sin embargo, en comunidades similares a la del presente experimento, Irisarri et al. (2013) reportaron producciones,

promedio de 6 años entre 6.500 y 7.500 kg MS.ha⁻¹.año⁻¹, muy superiores a las obtenidas en el experimento. Con una visión de largo plazo las prácticas sitio-específicas podrían traducirse en mayor producción primaria neta aérea, a través de la resiembra de las leguminosas intersembradas y de un refuerzo anual de la fertilización fosforada. Ya que de por sí, el manejo de la frecuencia de corte o pastoreo del pastizal incrementa su producción en relación a un manejo o pastoreo continuo (Jacobo et al. 2006). Sin embargo, se podría incrementar en gran medida la PPNA complementando la fertilización fosforada con un fertilizante nitrogenado (Pacente, 2014). En cuanto a la corrección del pH, no se espera, con la dosis utilizada, ningún efecto a largo plazo.

Bajo una única frecuencia de defoliación, 550±50 °C-días, las tres comunidades del pastizal natural permanecieron productivas todo el año con una marcada estacionalidad, mostrando tasas de crecimiento mínimas durante el invierno, intermedias en otoño y máximas durante fines de primavera y principio de verano, como fue señalado por Sala et al. (1981b) para pastizales naturales templados. En la comunidad dominada por festuca alta la distribución de la tasa de crecimiento a lo largo del período experimental fue similar en los tres tratamientos, debido a que se aplicó la misma frecuencia de defoliación. Bajo este modelo de defoliación, adecuado a la vida media foliar, esta especie expresó el patrón típico de crecimiento para una festuca tipo norte de Europa o continental (Maddaloni y Ferrari 2001). En la comunidad de raigrás-sporobolus, bajo el manejo sitio-específico desde el inicio del periodo experimental hasta mediados de octubre la frecuencia de defoliación se estableció según el raigrás. Durante ese periodo, la curva de producción fue similar a la de los tratamientos control y de bajos insumos, lo que sugiere que frecuencias de defoliación de 350±50 y 550±50 °C-días no modificaron el modelo de crecimiento. A partir de mediados de octubre, en el manejo sitio-específico la frecuencia de defoliación se adecuó a la vida media foliar de sporobolus, de 700±50 °C-días, especie de crecimiento primavero-estivo-otoñal. Esta menor frecuencia de defoliación produjo una mayor tasa de crecimiento en verano, pero menor en el otoño que la frecuencia mantenida en los tratamientos control y bajos insumos. En esta comunidad, al momento de realizar el corte de limpieza inicial, había exceso de material acumulado que al ser eliminado provocó la elevada promoción de raigrás anual. Sin embargo, las limitantes nutricionales de este ambiente, que no pudieron corregirse con la fertilización fosforada, restringieron el crecimiento de la especie. Por lo tanto, hubo una baja producción en invierno y principios de primavera, aunque se haya manejado la defoliación de acuerdo a los requerimientos del raigrás. Cuando se realiza la promoción es común obtener altas densidades de raigrás por unidad de superficie. Jacobo et al. (2000) reportaron para un pastizal de la Pampa Deprimida 3.094 semillas de raigrás.m⁻² bajo un pastoreo rotativo y 1.173 semillas de raigrás.m⁻² bajo un pastoreo continuo. En la práctica agronómica para promover el raigrás, además de pastorear intensamente en verano-promoción a diente- o de eliminar la vegetación con glifosato-promoción química-, se debe fertilizar con fuentes nitrogenadas para promover el crecimiento. Rípodas (2007) al agregar 100 kg urea.ha⁻¹ logró incrementar la producción en promedio un 350 % en relación al tratamiento sin fertilizar. En la comunidad de agropiro al manejar la frecuencia de defoliación en función de la vida media foliar de la especie dominante también se modificó el patrón de distribución de la PPNA en el transcurso del periodo experimental. Con el manejo sitio-específico, al adecuar la frecuencia de defoliación cada 800±50 °C-días, se obtuvo mayor tasa de crecimiento en verano, probablemente por favorecer el crecimiento de gramón y pelo de chanco. Bajo este manejo el agropiro, cuyo crecimiento es otoño-primaveral (Maddaloni y Ferrari 2001), no evidenció su mayor crecimiento de otoño, como si lo hizo bajo el manejo

control y de bajos insumos que mantuvieron una frecuencia de 550 ± 50 °C-días. Un motivo pudo haber sido que los macollos en estado reproductivo, producto de la menor frecuencia de defoliación, limitaron el rebrote otoñal (Fernández Grecco 2013). Ambos sistemas de defoliación no se diferenciaron en el crecimiento de invierno y primavera.

La oferta de forraje de estos pastizales naturales está constituida por un 90-95 % de gramíneas y alrededor de 5 % de leguminosas y 10 % de malezas (Ginzo et al. 1982; Chaneton et al. 1996). Los valores hallados en este trabajo son consistentes con esos resultados. Bajo el manejo sitio-específico, en las tres comunidades, la contribución porcentual de los componentes presentes en la PPNA total fue: gramíneas entre un 91 y 96 %, leguminosas entre 1,5 y 5,5 %, malezas entre 1 y 5 %, mientras que bajo los tratamientos control y bajos insumos la gramínea estuvo presente en un 95-99 % y las malezas entre un 1 y 4,4 % y no se relevaron leguminosas.

Las leguminosas en el tratamiento sitio-específico se lograron implantar, pero se perdieron en el transcurso del experimento, probablemente debido a la competencia que le ejercieron las gramíneas que presentaban una elevada cobertura del suelo al momento de la intersembranza al voleo. Esta acción sobre la implantación y desarrollo de las leguminosas que ejercen las gramíneas fue señalado por varios autores: Campbell y Swain 1973; Sevilla y Fernández 1991; Miñón y Colabelli 1993; Scheneiter y Bertín 2011. En los suelos con hidromorfismo y/o halomorfismo, es difícil lograr una adecuada implantación (Martín et al. 2012) y posterior supervivencia de las leguminosas. Todo ello hace que el éxito de implantación y persistencia sea aleatorio (Sevilla et al. 1989). Sin embargo, la alta cobertura de gramíneas y las características de los suelos permitieron alcanzar a los 30 dds un promedio de 56 % de germinación, valor adecuado para intersembranzas en pastizales. Cuando se considera un período de 120 dds, la implantación disminuyó marcadamente para las tres especies intersembradas, con trébol blanco la eficiencia de implantación fue de 19 %, con *Lotus tenuis* del 33 % y con *Melilotus* del 15%. Con el transcurso del tiempo, en las tres especies la mortandad fue mayor al 94 % de las plántulas logradas a los 30 dds. Como se mencionó al principio, la competencia de la vegetación presente debe haber sido la responsable de ello, la cuál puede ser acelerada por condiciones de temperatura y humedad favorables para el crecimiento de las gramíneas (Sbarra et al. 1995). Estos autores, evaluando distintas densidades de siembra de *Lotus tenuis*, fertilizando con fósforo, en un pastizal natural de la depresión del Salado encontraron una mortandad del 73 y del 79 % a los 319 días desde la siembra en los mejores tratamientos, alcanzando entre 5 y 14 % de eficiencia de establecimiento. Una muy baja implantación con *Lotus tenuis* también fue reportada por Casal (2015), atribuidas por el autor a un periodo de escasas precipitaciones durante el establecimiento. Marchegiani et al. (1982) intersembraron un pastizal natural con 360 semillas viables.m⁻² de trébol blanco y fertilizaron con distintas dosis de fósforo, a los 133 dds tuvieron una eficiencia de implantación de un 6,5 %. En cuanto a la fertilización fosforada no influyó en la implantación pero sí incremento la producción de forraje en relación al testigo sin diferencias entre las dosis evaluadas. Silveira Martinez (2005) incorporando trébol en un pastizal natural de Uruguay, reportó en el mejor de sus tratamientos, con fertilización fosforada, a los 120 dds una eficiencia de implantación de 16 %, resultado similar al obtenido en este trabajo (19 %). Bruno et al. (1983) sobre una pastura de *Chloris gayana* (grama Rhodes), implantada en un suelo Argiudol típico, sembraron al voleo *Melilotus* y aplicaron pastoreo o picado de la pastura en combinación con y sin remoción previa del suelo y con y sin pisoteo con bovinos. Tanto el pastoreo como el laboreo previo a la siembra disminuyeron la competencia de la gramínea y facilitaron la implantación. Sin embargo, los métodos

evaluados fueron muy ineficientes. Con los mejores tratamientos, pastoreo-remoción y pastoreo-pisoteo, tuvieron una eficiencia, a los 45 dds, de 11 y 9 % respectivamente. En esta investigación, la eficiencia de implantación de melilotus, entre los 120 y 180 dds fue de 15 y 6% respectivamente. El manejo de las leguminosas debe estar orientado a que se asegure un elevado número de plantas, a través de mejorar las condiciones de siembra, y luego se tiene que favorecer el restablecimiento natural, a través de aumentar la cantidad de semillas de la especie deseada en el suelo (Scheneiter y Bertín 2011).

En agropiro, hasta los 60 dds se registró la emergencia de nuevas plántulas, lo cual se explicaría por ser una especie de germinación lenta, comparada con otras gramíneas forrajeras (Agnusdei et al. 2011). Ojuez et al. (2006) también reportaron un incremento de plántulas entre el período de 73-157 dds. Estos autores evaluaron la implantación de agropiro bajo dos sistemas de siembra, en línea y al voleo, ambas con y sin cobertura. A los 73 dds las plántulas logradas bajo el sistema de siembra en línea fue significativamente mayor que al voleo, independientemente de la cobertura. Sin embargo, durante el período comprendido entre los 73-157 dds, en el único tratamiento que registraron un incremento del número de plántulas fue bajo la siembra al voleo y con cobertura, permitiendo que este a los 157 dds no se diferencie con la siembra en línea con y sin cobertura. Martín et al. (2008) evaluaron bajo siembra directa con previo pastoreo y aplicación de glifosato, la implantación de una pastura de agropiro y trébol de olor de flor amarilla en la Pampa Ondulada. La densidad de siembra fue de 500 semillas viables.m⁻² de cada especie. A los 60 dds, en agropiro la eficiencia de emergencia fue del 15 %; a los 90 dds del 12 % y a los 120 dds del 6%. Estas eficiencias fueron bajas comparadas con las obtenidas en fechas similares en esta investigación bajo una siembra al voleo. Durante el período experimental, las mortandades de las plántulas ocurrieron entre los 60-120 dds y 180-360 dds. En el primer período, la mortandad puede explicarse por la competencia intraespecífica, ya que en pasturas de agropiro con densidades mayores a 300 plántulas.m⁻², la supervivencia se ve afectada y la densidad se estabiliza en dicho valor (Agnusdei et al. 2011). En el segundo período, comprendido entre principios de noviembre y mediados de abril, la mortandad pudo deberse a la competencia interespecífica producida por gramón y pelo de chanco, especies muy invasivas y muy competitivas en cuanto al uso del agua (Agnusdei et al. 2011).

En las tres comunidades, la defoliación, el aporte de la leguminosa y del fósforo no mejoró la digestibilidad *in vitro* de la materia seca. En la comunidad de festuca pudo deberse a que los tratamientos se manejaron bajo la misma frecuencia de defoliación (550±50 °C-días). En la comunidad de raigrás-sporobolus, tampoco se obtuvieron diferencias en la digestibilidad. Debido a que por razones climáticas, en el corte evaluado, los tres tratamientos se cortaron cuando sumaron 684 °C-días. En la comunidad de agropiro por la misma razón el tratamiento específico se cortó con 794 °C-días y el tratamiento de bajos insumos y el control con 724 °C-días. Por lo tanto, la frecuencia fijada en los tratamientos control y bajos insumos tuvo el mismo efecto que la del tratamiento sitio-específico. Por estas razones, en el corte evaluado la frecuencia de defoliación no difirió en las comunidades de R-S y AA entre los tratamientos. Por lo tanto, no hubo diferencias importantes en los tejidos principalmente de las gramíneas, cuya lignificación y senescencia afecta la digestibilidad de la materia seca (Di Marco et al. 2013) en el corte evaluado. Sin embargo, las tres comunidades presentan, en el corte evaluado, alta DIVMS, como consecuencia aportan un forraje de muy alta calidad (Agnusdei 2001). En promedio, la DIVMS de la comunidad de festuca alta fue de 73%, acorde a lo reportado para pasturas puras de festuca en estado

vegetativo (70-75%) (Agnusdei et al. 2011). Hidalgo et al. (1998) reportaron para planta entera de raigrás y sporobolus valores de 76 y 68 % de DIVMS, respectivamente. Los mismos corresponden al mismo estado fenológico del corte analizado de la comunidad R-S, en donde la digestibilidad obtenida, (67% de DIVMS), fue acorde a la bibliografía. Alonso et al. (2000) reportaron para agropiro alargado, durante el crecimiento de otoño e invierno, digestibilidades de 60 a 70 % respectivamente. En la comunidad de AA el valor obtenido del forraje crecido en primavera fue de 76 %. Para un estado fonológico de principio de floración, más avanzado que al corte analizado, Borrajo (1998) reportó una digestibilidad del 58 %.

La materia seca digestible no varió entre los tratamientos en las comunidades de festuca y de raigrás-sporobolus, pero sí lo hizo en la comunidad de agropiro. En ella, la oferta de materia seca digestible aumentó bajo el manejo sitio-específico debido al mayor aporte de forraje. En la comunidad de raigrás-sporobolus los bajos contenidos de materia seca digestible fueron producto de la baja producción de forraje del corte analizado.

En las tres comunidades la proteína bruta ofrecida del forraje analizado fue mayor en el tratamiento sitio-específico. Puntualmente en las comunidades de festuca y agropiro se debió a una mayor PPNA, debido a que el porcentaje de PB del forraje no se diferenció entre los tratamientos evaluados. En estas comunidades, la leguminosa formó parte del forraje en un 4 y 12 %, respectivamente. Dicha participación no fue suficiente para incrementar la PB del forraje, esta baja contribución se explicaría por la baja persistencia de las leguminosas intersembradas. En la comunidad de raigrás-sporobolus, el mayor porcentaje de proteína bruta bajo el manejo sitio-específico probablemente se debió al aporte de nitrógeno proveniente de la leguminosa. En este caso el lotus formaba parte del forraje en un 9 % permitiendo que el porcentaje de proteína se incremente en relación al tratamiento control en un 25 %, resultando un mayor valor absoluto de N en el forraje ofrecido (Silveira Martinez 2005). Romero y González (1999) (citado en Rojas Hernández 2005) obtuvieron con pasturas de *Brachiaria decumbens* puras y asociadas a *Arachis pintoii* un incremento del 15,5 % de proteína bruta del forraje en relación con la pastura de gramínea pura, aunque no se informó el porcentaje de leguminosas en la pastura. En todas las comunidades, con los manejos propuestos -incluido el tratamiento control-, el porcentaje de proteína bruta del forraje no afecta el consumo animal, debido a que es mayor al 7 %. Valores por inferiores, al mencionado, disminuyen el consumo por una deficiencia de nitrógeno en rumen al afectar la actividad microbiana ruminal (Mathis 2003)

La respuesta a la fertilización fosforada no siempre promueve el crecimiento vegetal, tal como lo indican varios trabajos (Rubio et al. 1996; Ayala Torales et al. 1998; Ansín et al. 2000; Pacente 2014). En el presente trabajo, al finalizar el periodo experimental, sólo se encontraron incrementos significativos en el contenido de P en el suelo, en las comunidades de festuca y agropiro, aunque sin llegar a las 10 ppm. En relación al tratamiento control, en festuca se incrementó un 27 % y en agropiro un 30 %. Estos valores son menores a los obtenidos por Ansín et al. (2000), quienes obtuvieron un incremento del 120 % con dosis de 40 kg P elemento.ha⁻¹ con laboreo previo del suelo e incorporación del fertilizante fosforado. Posiblemente la baja eficiencia de la fertilización fosforada fue debida a la aplicación al voleo del fertilizante, aunque en los primeros 25 días desde que se fertilizó y se aplicó yeso en las parcelas correspondientes ocurrieron 7 eventos de lluvias, acumulando 27 mm, por lo cual se puede suponer que el P y el yeso se incorporaron al suelo. En cuanto al método de aplicación, Barberis (1986)

(citado en Ansín et al. 2000) justifica la incorporación del fósforo en profundidad debido a la escasa movilidad del nutriente. No obstante, Müller Pritzke (2013), en un pastizal degradado, en Chile, con bajo nivel de P, investigó la eficiencia en el uso del mismo bajo dos formas de aplicación: al voleo y en línea profunda y concluyó que la respuesta al fertilizante es independiente de la forma en que se incorpora. Rodríguez et al. (2001) (citado en Müller Pritzke 2013), en cambio, sugiere que la aplicación en línea incrementa la eficiencia en el uso del P, pero este beneficio sobre la aplicación al voleo disminuye a medida que se incrementa el contenido de fósforo en el suelo. Con dosis de 120 kg SPT.ha⁻¹, inferior a la utilizada en el manejo sitio-específico, Marchegiani y Satorre (1981) no encontraron diferencias entre la aplicación al voleo y en línea en la implantación de una pastura de trébol blanco y festuca. Pero con dosis menores a 80 kg SPT.ha⁻¹, la mayor respuesta la obtuvieron bajo la aplicación en línea. A pesar de ello, si la práctica continuara en el tiempo podría provocar un incremento del P disponible del suelo (Zubillanga y Lavado 2002). No obstante, el fósforo puede ser retenido bajo formas no disponibles y cuando se analiza la fracción lábil, el incremento debido a la fertilización fosforada puede no ser detectado (Rubio et al. 1997; Giuffré de López Camelo 1989) tal como pudo haber ocurrido en la comunidad de raigrás-sporobolus. Además, en un medio alcalino se favorece la formación de compuestos de baja solubilidad y su disponibilidad también disminuye (Tisdale et al. 1993 citado en Vazquez et al. 2001; Stoffella et al. 1998).

En cuanto al yeso, la dosis de 3.000 kg de yeso.ha⁻¹ no fue efectiva para disminuir el pH, el Na⁺ ni el PSI. Resultados similares fueron obtenidos por Martín et al. (2012) utilizando la misma dosis, mientras que usando dosis más altas (7.500 kg de yeso.ha⁻¹) logró disminuir el pH de 9,6 a 7,7 en una magnitud similar a la alcanzada por Wong et al. (2009). Costa y Godz (1999) utilizando dosis de 15.000, 35.000 y 60.000 kg de yeso.ha⁻¹ lograron reducir los valores de sodio y pH, cuyo efecto duró por alrededor de 10 años. La eficiencia de la corrección por el uso del yeso es baja, del orden de 20 al 30 % lo cual incrementa los costos (Taboada y Lavado 2009). Al ajustar la dosis utilizada en este trabajo por un valor de eficiencia del 20 %, resulta ser extremadamente baja, y conforme a la bibliografía, dicha dosis no tiene la capacidad de corregir el pH ni el PSI acorde a los resultados obtenidos. Por lo tanto, la dosis utilizada no fue efectiva y por consiguiente la inversión no se recuperó con mayor producción de forraje. Analizando los resultados obtenidos y al contrastarlos con la bibliografía, es aconsejable utilizar dosis más elevadas a la usada.

La eficiencia de la fertilización y del enyesado se pueden mejorar con el laboreo del horizonte superficial y posterior mezclado del fertilizante y/o enmienda (Barberis 1986 citado en Ansín et al. 2000; Frenkel et al. 1989). Sin embargo, en suelos halomórficos el laboreo afecta a la estructura del suelo y disminuye la cobertura del mismo (Ansín et al. 2000). Sumado a ello el ascenso de sales o sodio por el mezclado de horizontes o por la presencia de suelo desnudo (Taboada y Lavado 2009). Por tales motivos, la fertilización y el enyesado se optaron por realizarlas al voleo.

En los tratamientos de bajos insumos y sitio-específico la fertilización fosforada no favoreció que se establezcan las leguminosas que posiblemente se encontraban presentes en el banco de semillas del suelo. La primera causa posible fue que no se logró incrementar el nivel de fósforo disponible en el suelo, la segunda, aunque sin corroborar porque no se realizó un recuento de número de semillas viables de leguminosas por unidad de superficie, pudo haber sido por una baja presencia de especies leguminosas en cada comunidad. De acuerdo a los resultados obtenidos y en

coincidencia con Ginzo et al. (1982) con fertilizaciones fosforadas no se incrementa el porcentaje de leguminosas, debido a la baja presencia en el pastizal.

Los resultados obtenidos de las prácticas de manejo aplicadas a cada comunidad permitieron elaborar un nuevo criterio para manejar el pastizal, al seleccionar el tratamiento que permitió incrementar su PPNA con mínimo uso de insumos, que se denominó manejo sitio-específico eficiente. Aplicando este criterio, en la comunidad de festuca alta se seleccionó el manejo de bajos insumos, que incorporó fósforo para elevar el contenido edáfico a 5 ppm, y en las comunidades de raigrás-sporobolus y agropiro se seleccionó el tratamiento control, que no incorporó ningún insumo y aplicó una frecuencia de defoliación cada 550 ± 50 °C-días, coincidente con la utilizada en la comunidad de festuca, lo que facilitaría el manejo del pastoreo. Al estimar la PPNA del lote con la contribución relativa de las comunidades presentes en el pastizal en donde se realizó el experimento, con este manejo se obtuvo un valor similar al alcanzado bajo el tratamiento sitio-específico y de bajos insumos y superior al tratamiento control. Sin embargo, para obtener la misma PPNA, este manejo sitio-específico eficiente requiere elevar el contenido de P edáfico a 5 ppm sólo en la comunidad de festuca, mientras que el manejo de bajos insumos requiere elevar el contenido de P edáfico a 5 ppm en las otras dos comunidades y el manejo sitio-específico requiere el doble de P en las tres comunidades además de la intersembrado de leguminosas y la aplicación de yeso agrícola en la comunidad de agropiro. Por lo tanto, este manejo sitio-específico eficiente sería más económico y más eficiente en relación a los insumos aplicados. Estimando la eficiencia en el uso del fósforo, el manejo sitio-específico eficiente produce 78 kg MS.kg P⁻¹ mientras que los manejos sitio-específico y de bajos insumos, 18 y 34 kg MS.kg P⁻¹, respectivamente.

Al simular la respuesta productiva de dieciocho alternativas con distintos porcentajes de ocupación de las comunidades, bajo los manejos sitio-específico eficiente, sitio-específico y de bajos insumos se logró incrementar la PPNA total con respecto al tratamiento control. Esto sugiere que hay una respuesta a la aplicación de P, pero no fueron consistentes los resultados con las dosis utilizadas.

En la simulación, las alternativas más productivas fueron en las que la festuca ocupaba un 80 % y un 60 %, debido a que esta comunidad produjo alrededor de un 40 % más de forraje que las otras dos. El principal aporte forrajero provino de la festuca, especie con una amplia plasticidad edáfica y altamente productiva, aunque los valores obtenidos estuvieron por debajo del potencial de la especie (Maddaloni y Ferrari 2001), probablemente como consecuencia de las limitantes previamente mencionadas.

La oferta de PB estimada a escala del lote como el promedio de las dieciocho situaciones con distintos porcentajes de ocupación de las comunidades resultó superior bajo el manejo sitio-específico eficiente respecto del manejo sitio-específico y de bajos insumos, y estos dos resultaron superiores al tratamiento control. Debido a una mayor producción de forraje que en promedio tuvo un 8,8 % de PB. En cambio, en los otros dos tratamientos el porcentaje de PB del forraje fue en promedio 7,7 %. No obstante, la mayor producción de forraje de estos últimos con respecto al control hizo que la PB disponible fuera mayor que en el tratamiento control, en el cuál el porcentaje de PB fue del 8,5%.

A partir de los resultados obtenidos en el presente estudio fue posible aplicar criterios de manejo sitio-específico (Plant 2001; Zhang et al. 2002; Corwin y Lesch 2005; Gambaudo et al. 2012) en un pastizal natural del norte de la provincia de Buenos Aires, y fue posible ajustar prácticas de manejo para optimizar la respuesta productiva en las diferentes comunidades del lote. De este modo se pudo lograr un manejo sitio-específico eficiente del pastizal al aplicar un insumo en la cantidad que la comunidad lo requiera y no en áreas en las cuales no se incrementa la producción de forraje con la tecnología aplicada (Horney et al. 2005; Gambaudo et al. 2012), por lo tanto se incrementó la eficiencia del uso de los insumos (Van Uffelen et al. 1997; Stafford 2000; Corwin y Lesch 2005).

Implicancias en el manejo del pastizal natural

Los resultados hallados, bajo las condiciones experimentales, no demuestran un incremento significativo de la PPNA del pastizal natural con el manejo sitio-específico en relación al manejo de bajos insumos. Sin embargo, con el manejo sitio-específico eficiente la PPNA se incrementó con respecto a los manejos bajos insumos y control sin ser estadísticamente superior al manejo sitio-específico. El manejo sitio-específico eficiente permitió manejar el pastizal natural con la aplicación de un único insumo y con el uso de una misma frecuencia de la defoliación. Lo anterior, sumado a que es una tecnología de bajo costo haría viable su adopción. Bajo la situación actual, en donde la agricultura desplazó a la ganadería a ambientes menos aptos, con heterogeneidad edáfica y problemas de hidromorfismo y/o halomorfismo, resulta importante realizar un uso eficiente de los recursos.

Perspectivas para futuras investigaciones

Partiendo de que las prácticas de manejo sitio-específico mejoran la producción de forraje del pastizal, nos preguntamos: ¿por qué no lo hicieron, en cada comunidad, en una magnitud tal que supere a la producción de forraje obtenida bajo un manejo de bajos insumos?. En este sentido se plantea:

a) Es necesario realizar investigaciones para estudiar la supervivencia de las leguminosas en estos ambientes. Dichos trabajos deberían estar orientados a conocer su dinámica poblacional y las relaciones que existen con las gramíneas presentes en cada comunidad vegetal y las características del suelo de cada una de ellas.

b) ¿Cómo se incrementaría la PPNA si se hubiesen logrado los niveles de P edáfico de 10 ppm y si la aplicación de yeso hubiese permitido corregir el PSI a niveles compatibles con la especie de interés en las dos comunidades con exceso de Na^+ ?

c) ¿En qué magnitud se incrementaría la PPNA de cada comunidad si se hubiese fertilizado con fuentes nitrogenadas en función de los requerimientos de las especies que conforman las comunidades?

Capítulo V: CONCLUSIÓN

4.1 Conclusiones parciales

- ✓ El manejo sitio-específico, en las comunidades evaluadas y en contraste con un control, no incrementó la productividad primaria neta aérea total. Sin embargo, en aquellas comunidades de raigrás anual-sporobolus y agropiro alargado modificó el modelo de crecimiento, de una curva bimodal a una unimodal.
- ✓ En tres comunidades relevantes de un pastizal natural del norte de la provincia de Buenos Aires más del 90 % del forraje está compuesto por gramíneas. El aporte de las leguminosas fue de poca importancia, aún con su incorporación mediante la intersembra al voleo, en un tratamiento de manejo sitio-específico.
- ✓ Las leguminosas intersembradas se lograron implantar en ambientes en donde predominaban las gramíneas. Sin embargo, la supervivencia del trébol blanco, lotus y melilotus fue afectada por la competencia de las especies ya presentes en el pastizal. Luego de transcurrido un año desde la intersembra, las plantas de leguminosas estaban presentes en menos de un 6 %, en relación con las logradas a los 30 días desde la siembra.
- ✓ A partir del momento de la intersembra de agropiro alargado se registraron nacimientos hasta los 60 días posteriores a la misma y la supervivencia de la especie fue afectada en invierno por la competencia intraespecífica. A fines de primavera, verano y principios de otoño la competencia producida por gramón y pelo de chancho provocaron la disminución en número de plantas, por unidad de superficie, de agropiro.
- ✓ En las tres comunidades, la digestibilidad *in vitro* de la materia seca fue similar entre tratamientos. Sin embargo, la materia seca digestible ofrecida en la comunidad de agropiro alargado fue mayor en el tratamiento de manejo sitio-específico. El porcentaje de proteína bruta del forraje sólo se incrementó en la comunidad de raigrás-sporobolus, posiblemente debido al aporte de nitrógeno proveniente del forraje de lotus. En las restantes comunidades sólo se diferenciaron los tratamientos cuando esta variable se expresa como proteína bruta ofrecida por unidad de superficie, debido a una mayor acumulación de forraje de los tratamientos sitio-específico.
- ✓ En la comunidad de festuca alta y en la de agropiro alargado, bajo un manejo sitio-específico se logró incrementar el contenido de fósforo del suelo en una parte por millón con respecto al control. Obteniendo 4,1 y 3,7 ppm, respectivamente, ambos valores inferiores al nivel objetivo del tratamiento -10 ppm- y, en las tres comunidades con el manejo de bajos insumos se alcanzan valores similares al tratamiento control. En la comunidad de agropiro alargado la dosis de 3 mil kg.ha⁻¹ de yeso fue insuficiente para disminuir el pH y el porcentaje de sodio intercambiable.
- ✓ Se evidenció el incremento de la productividad primaria neta aérea y la oferta de proteína bruta de las situaciones simuladas, con distintos porcentajes de ocupación de cada una de las comunidades presentes en el pastizal, posiblemente debido a la fertilización fosforada en los tratamientos sitio-específico eficiente, sitio-específico y bajos insumos.

4.2 Conclusión general

Con las prácticas agronómicas propuestas de manejo sitio-específico en cada comunidad del pastizal natural: el manejo de la defoliación, la incorporación de leguminosas, la fertilización fosforada y el enyesado, no fue posible mejorar las características productivas en relación al manejo de bajos insumos y control. Sin embargo, cuando el pastizal natural, con dieciocho proporciones de cada comunidad, se lo maneja teniendo en cuenta las prácticas que fueron más eficientes en cuanto al uso de los insumos en cada una de ellas, la productividad primaria neta aérea y la oferta de proteína bruta del pastizal natural resultante se incrementó en relación al manejo de bajos insumos y tratamiento control.

Referencias bibliográficas

- Agnusdei, M. G. 1999. Analyse de la dynamique de la morphogenèse foliaire et de la défoliation de plusieurs espèces de graminées soumises à un pâturage continu dans une communauté végétale de la Pampa humide (Argentine). Thèse de l'Institut National Polytechnique de Lorraine, France. 108 pp.
- Agnusdei, M. G.; Castaño, J. y Marino, A. 2011. Recuperando a un viejo aliado. *Visión rural* 86:18-24.
- Agnusdei, M. G.; Colabelli, M. R. y Fernández Grecco, R. C. 2001. Crecimiento estacional de forraje de pasturas y pastizales naturales para el sudeste bonaerense. *Boletín Técnico* N° 152. ISSN 0522-0548. EEA INTA Balcarce.
- Agnusdei M. G.; Di Marco O. N.; Insua J. R. 2011. Calidad nutritiva de Festuca alta. *Revista Visión Rural*. 18 (89). INTA. Balcarce. Octubre-Noviembre 2011. 5-9 pp. [en línea] http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas%20artificiales/190-Calidad_Festuca.pdf [último acceso: 20-03-2018].
- Alonso, S. I.; Fernandez, J.A.; Borrajo, C. I. y Echeverria, H. E. 2000. Cambios en producción y calidad del forraje otoño-invernal por el agregado de nitrógeno en materiales genéticos de agropiro. *Revista de la Asociación Argentina de Ciencia del Suelo*. 18(2):115-124.
- Ansín, O. E.; Oyhamburu, E. M. y Delgado Caffé, J. L. 2000. Efectos de la roturación del suelo, durante el agregado de fosfato diamónico, sobre la estructura y el funcionamiento de un pastizal húmedo-alcalino de la Pampa Deprimida bonaerense (Argentina). *Investigación agraria. Producción y protección vegetal* 15 (1-2):5-12.
- Ayala Torales, A. T.; Deregibus, V. A. y Moauro, P. R. 1998. Phosphorus absorption capacity of lotus corniculatus and festuca arundinacea during sward establishment. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 41 (3) 307-312.
- Batista, W. B y León, R.J.C. 1992. Asociación entre comunidades vegetales y algunas propiedades del suelo en el centro de la depresión del salado. *Ecología Austral* 2:47-55.
- Batista, W. B.; Taboada M. A.; Lavado, R. S.; Perelman, S. B. y León, R. J. C. 2005. Asociación entre comunidades vegetales y suelos en un pastizal de la Pampa Deprimida. En: Oesterheld, M.; Aguilar, M. R.; Ghersa, C. M. y Paruelo, J. M. La heterogeneidad de la vegetación de los agroecosistemas. Editorial Facultad de Agronomía. pp 113-129.
- Bazzigalupi, O.; Pistorale, S. y Andrés, A. 2008. Tolerancia a la salinidad durante la germinación de semillas provenientes de poblaciones naturalizadas de agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum*) *Ciencia e Investigación Agraria*. 35(3): 277-285.

- Borrajo, C. I. 1998. Generación y expansión de los órganos foliares de agropiro alargado en función del material genético y la disponibilidad de nitrógeno. Tesis Magister Scientiae, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Balcarce, Argentina.
- Brizuela, M. A. y Cibils A. 2011. Implicancias de la carga animal, distribución de los animales y métodos de pastoreo en la utilización de pasturas. En: Cangiano, C. A. y Brizuela, M. A. (Eds). Producción animal en pastoreo. INTA. MAGP. pp. 349-373.
- Bruno, O. A.; Fossati, J. L. y Quaino, O. R. 1983. Incorporación de trébol de olor de flor blanca en grama rhodes. Producción Animal 10: 333-341.
- Call, J. W.; Butcher, J. E.; Shupe, J. L.; Blake, J. T. y Olson, A. E. 1986. Dietary phosphorus for beef cows. American Journal of veterinary Research. 47(2):475-481.
- Campbell, M. H. y Swain, F. G. 1973. Factors causing losses during the establishment of Surface-sown pastures. Journal of Range Management 26 (5):355-359.
- Cauhépé, M.A. y L.G. Hidalgo. 2005. La Pampa inundable: el uso ganadero como base de la sustentabilidad social, económica y ambiental. En: Oesterheld, M.; Aguiar, M. R.; Ghera, C. M. y Paruelo, J.M. (eds.). La heterogeneidad de la vegetación de los agroecosistemas. Un homenaje a Rolando León. Editorial Facultad de Agronomía. UBA.
- Cauhépé, M. A.; León, R. J. C.; Sala, O. y Soriano, A. 1982. Pastizales naturales y pasturas cultivadas, dos sistemas complementarios y no opuestos. Revista de la Facultad de Agronomía, 3 (1): 1-11.
- Casal, A. 2015. Alternativas para aumentar la producción de forraje en pastizales naturales de la Pampa Deprimida. Tesis magister Universidad de Buenos Aires. 76p.
- Chaneton, E. J.; Lemcoff, J. H. y Lavado, R. S. 1996. Nitrogen y phosphorus cycling in grazed and ungrezed plots in a temperare subhumid grassland in Argentina. Journal of Applied Ecology. 33(2):291-302.
- Colabelli, M, Agnusdei, M., Mazzanti, A. y Labreveux, M. 1998. El proceso de crecimiento y desarrollo de gramíneas forrajeras como base para el manejo de la defoliación. Boletín Técnico N° 148. INTA, CERBAS, Estación Experimental Agropecuaria Balcarce. 17 p.
- Colabelli, M. R. y Miñón, D. P. 1993. Métodos de interseembra de Lotus tenuis y Trifolium repens en pastizales de la Pampa Deprimida. Revista Argentina de Producción Animal. 13(3-4): 225-140.
- Corwin, D. y Lesch, S. 2005. Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. Computers and Electronics in Agriculture 46:11-43.

- Costa, J. L. y Godz, P. 1999. Aplicación de yeso a un Natracuol del sudeste de la Pampa Deprimida. *Ciencia del suelo* 17(2):21-27.
- Dávila, M. 2012. Cambio tecnológico en el agro pampeano y conflicto agrario. En: *Documentos de trabajo*. Universidad de Belgrano 278:1-9.
- Deregibus, V.A. 1988. Importancia de los pastizales naturales en la república Argentina: situación presente y futura. *Revista Argentina de Producción Animal*. 8(1):67-78.
- Deregibus, V. A. y Cauhépe, M. A. 1983. Pastizales naturales de la Depresión del Salado: utilización basada en conceptos ecológicos. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*. 18: 47-78.
- Díaz Zorita, M. 2002. Ciclado de nutrientes en sistemas pastoriles [en línea] <http://www.produccion-animal.com.ar/suelos_ganaderos/52-ciclado_nutriente_s.pdf> [último acceso: 14-10-2014].
- Di Marco, O. N.; Harkes, H. y Agnusdei, M. G. 2013. Calidad de agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum*) en estado vegetativo en relación con la edad y longitud de las hojas. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 39(1):105-110.
- Di Rienzo J. A.; Casanoves F.; Balzarini M. G.; Gonzalez L.; Tablada M. y Robledo C. W. 2016. InfoStat versión 2016. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Durante, M.; Piñero, G.; Irisarri, J. G. N. y Oesterheld, M. 2016. Primary production of lowland natural grasslands and upland sown pastures across a narrow climatic gradient. *Ecosystems*. 20(3):543-552.
- Fenner, M. y Thompson, K. 2005. Gaps, regeneration and diversity. En: *The Ecology of Seeds*. Cambridge, University press. pp 163-178.
- Fernández Grecco, R. 2013. Dinámica del crecimiento de una pastura de agropiro alargado de acuerdo con la época de fertilización nitrogenada. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*. 39(2):162-168.
- Frenkel, H., Gerstl, Z. y Alperovitch, N. 1989. Exchange-induced dissolution of gypsum and the reclamation of sodic soils. *Journal of soil science* 40:599-611.
- Gambaudo, S.; Fontanetto, H.; Sosa, N.; Forni, M. y Boschetto, H. 2012. Diagnóstico por ambientes en sistemas ganaderos, En: 11° congreso de agricultura de precisión- INTA EEA Manfredi. [en línea] <http://www.http://rafaela.inta.gov.ar/masinfo/INTA_Gestion_Residuos_Pecuarios_2013/Taambo/Balance%20de%20nutrientes/Diagn%C3%B3stico%20por%20ambientes%20en%20sistemas%20ganaderos.pdf> [último acceso: 2-11-2015].
- García, F.; Micucci, F.; Rubio, G.; Ruffo, M. y Daverede, I. 2002. Fertilización de forrajes en la región pampeana. Una revisión de los avances en el manejo de la fertilización de pasturas, pastizales y verdeos. *Boletín técnico*. Instituto de la Potasa y el fósforo (INPOFOS) Cono Sur. 61 p.

- Ginzo, H. D.; Collantes, M. y Caso, O. 1982. Fertilization of a native grassland in the "Depresión del Río Salado", provincie of Buenos Aires: Herbage dry matter accumulation and botanical composition. *Journal of Range Management* 1:35-39.
- Giuffré de López Camelo, L. 1989. Índices de sorción de fósforo y su relación con algunas propiedades de los suelos. *Ciencia del Suelo*. 7(1-2):43-50.
- Goering, H. K. y Van Soest, P. J. 1970. Forage Fiber Analysis. 379. USDA, ARS.
- González, M del C. y Román, M. 2009. Expansión agrícola en áreas extra pampeanas de la Argentina. Una mirada desde los actores sociales En: Cuadernos Des. Rural, Bogotá (Colombia), 6(62):99-120.
- Hall, A. J.; Rebella, C.M.; Ghera, C.M. y Culot, J.P.H. 1992. Field-crop systems of the Pampas. pp. 413-450. En: Pearson, C.J. (Ed.). *Ecosystems of the Worlds. Field Crop Ecosystems*. Elsevier, Amsterdam.
- Harper, J. L.; Williams, J. T. y Sagar, G. R. 1965. The behaviour of seeds in soil. I. The heterogeneity of soil surfaces and is role in determining the establishment of plants from seed. *Journal of Ecology*, 53:273-286.
- Hidalgo, L. G.; Cauhepe, M. A. y Erni, A. N. 1998. Digestibilidad de materia seca y contenido de proteína bruta en especies de pastizal de la pampa deprimida, Argentina. *Investigación Agraria. Producción y Sanidad Animal*. España. 13 (1,2 y 3):165-177.
- Horney, R.; Taylor, B.; Munk, D.; Roberts, B.; Lesch, S. y Plant, R. 2005. Development of practical site-specific management methods for reclaiming salt-affected soil. *Computers and Electronics in Agriculture* 46:379-397.
- Irisarri, J. G. N.; Gundel, P. E.; Clavijo, M. P.; Durante, M. y Sosa, P. 2013. Estimación de la PPNA y la capacidad de carga por ambientes mediante información satelital en un establecimiento ganadero en la Pampa Deprimida. *Revista Argentina de Producción Animal*. 33(1):11-20.
- Jacobo, E. J.; Rodríguez, A. M.; Bartoloni, N. y Deregibus, V. A. 2006. Rotational grazing effects on rangeland vegetation at a farm scale. *Rangeland Ecology y Management* 59(3):249-257.
- Jacobo, E. J.; Rodríguez, A. M.; Rossi, J.L.; Salgado, L. P. y Deregibus, V. A. 2000. Rotational stocking and production of italian ryegrass on Argentinean rangelands. *Journal of range management* 53(5):483-488.
- Lavado, R. 1992. La fertilidad del suelo y la producción forrajera. Conferencia. 1er congreso mundial sobre producción, utilización y conservación de forrajes empleados en la alimentación de la ganadería vacuna. pp 11-34.
- Lemaire, G.; Da Silva, S.C.; Agnusdei, M.; Wade, M. y Hodgson, J. 2009. Interactions between leaf lifespan and defoliation frequency in temperate and tropical pastures: a review. *Grass and Forage Science* 64:341-353.

- León, R. J. C y Burkart, S. 1998. El pastizal de la Pampa Deprimida: Estados alternativos. *Ecotropicos* 11(2):121-130.
- Lezama, F.; Altesor, A.; León, R. J. C. y Paruelo, J. M. 2006. Heterogeneidad de la vegetación en pastizales naturales de la región basáltica de Uruguay. *Ecología Austral* 16:167-182.
- Maddaloni, J. y Ferrari, L. 2001. Forrajeras y pasturas del ecosistema templado húmedo de la Argentina. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Lomas de Zamora Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Editorial de la Universidad Nacional de Lomas de Zamora, Argentina. ISBN 9879455177. 520 p.
- Marchegiani, G. J.; Satorre, O. V. y Ayala Torales, A. T. 1982. Fertilización fosfórica e introducción de leguminosas en un pastizal natural. *Revista Argentina de Producción Animal* 9:135-146.
- Marchegiani, G. J. y Satorre, O. V. 1981. Fertilización fosfórica aplicada en líneas y en cobertura en la implantación de una pastura. *Producción Animal* 8:262-269.
- Martín, B.; Sosa, O.; Magra, G.; Zerpa, G. y Besson, P. 2012. Emergencia de forrajeras en un suelo salino-alcalino tratado con yeso. *Revista Argentina de Producción Animal*. 32(2):157-164.
- Martín, B.; Sosa, O.; Zerpa, G.; Acebal, M. A. y Magra, G. 2008. Características de una pastura en implantación en sectores con diferencias microaltimétricas en un área Deprimida. *Revista científica agropecuaria* 12(1):25-33.
- Martín, B.; Sosa, O., Montico, S. y Zerpa, G. 2007. Relación entre las unidades de vegetación y la microtopografía en un pastizal ubicado en un sector mal drenado de Argentina. *Ciencia e Investigación Agraria*. 34(2):103-113.
- Mathis, C. P. 2003. Protein and Energy Supplementation to Beef Cows Grazing New Mexico Rangelands. Circular 564. New Mexico State University Cooperative Extension Service.
- Miñón, D. P. y Colabelli, M. R. 1993. Intersiembrado de *Lotus tenuis* en tres comunidades nativas de la Pampa Deprimida *Revista Argentina de Producción Animal*. 13(2):133-140.
- Mufarrege, D. 1999. Los minerales en la alimentación de vacunos para carne en la Argentina. Trabajo de Divulgación Técnica, INTA-EEA Mercedes, Corrientes Argentina pp 57-64.
- Müller Pritzke, H. O. 2013. Evaluación de la eficiencia de uso de fósforo en una pradera fertilizada en cobertura y en localización con máquina regeneradora. Tesis de grado. Universidad Austral de Chile. Facultad de ciencias agrarias. Escuela de Agronomía. 46 p.
- Montico, S. 2006. Principios para el manejo de situaciones con suelos salinos y alcalinos. Cátedra de Manejo de Tierras Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Rosario. 40 p.

- Moreno, I y Bonadeo, E. 2012 Efectos del exceso de sodio sobre propiedades de los suelos - técnicas de recuperación. En boca de tod@s... experimentos de la convocatoria vox populi. Ed. Universidad Nacional de Río Cuarto. 19-25.
- NRC. 2000. Nutrient requirements of beef cattle, National Research Council. Washington, DC: National Academy Press. 401 p.
- Ojuez, C., Lauric, A., Siolotto, R., Scheneiter, O., 2006. Efecto de dos sistemas de siembra y distintos niveles de cobertura sobre la implantación de agropiro alargado en Bolívar. Publicaciones INTA EEA Bordenave. [En línea] http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_16__implantacion_de_agropiro_alargado_en_boliv.pdf [Último acceso 8-05-2017].
- Pacente, E. M. 2014. Fertilización o reemplazo de especies. Revisión bibliográfica de los efectos sobre la productividad del pastizal natural. [en línea] <<http://ri.agro.uba.ar/files/download/tesis/especializacion/2014pacenteezequi.pdf>> [último acceso: 1-10-2015].
- Paruelo, J. M.; Garbulsky, M. F.; Guerschman, J. P. y Oesterheld, M. 1999. Caracterización regional de los recursos forrajeros de las zonas templadas de Argentina mediante imágenes satelitarias. Revista Argentina de Producción Animal 19:125-131.
- Perelman, S. B; León R. J. C. y Oesterheld, M. 2001. Cross-scale vegetation patterns of flooding Pampa grasslands. Journal of Ecology 89:562-577.
- Petrantonio, M. y Aranguren, C. 2008. El proceso de sojización: la mirada en un territorio en perspectiva histórica. En: II Jornadas Nacionales de Investigadores de las Economías Regionales "Conflictos y transformaciones del territorio. Procesos sociales del último medio siglo". pp 1-35.
- Pizzio, R. M.; Delfino, D.; Rivero, L. y Fernandez, J. G. 2005. Mejoramiento del campo natural en el departamento de Curuzú Cuatia. Ediciones INTA, Junio 2005
- Plant, R. 2001. Site-specific management: the application of information technology to crop production. Computers and Electronics in Agriculture 30:9-29.
- Rearte, D. 2010. Situación actual y prospectiva de la producción de carne vacuna. [En línea] http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-situacionactual_prospectiva_produccion_carnevacuna.pdf [Último acceso 20-03-2017].
- Reboratti, C. 2010. Un mar de soja: la nueva agricultura en Argentina y sus consecuencias. Revista de Geografía Norte Grande 45:63-76.
- Rípodas, I. 2007. Integración de los recursos forrajeros para campos bajos. EN: Cómo optimizar la producción y utilización forrajera en suelos ganaderos. INTA- AIANBA. 72 p.
- Rubio, H.; Wood, M.; Gomez, A. y Reyes, G. 1996. Native forage quality, quantity, and profitability as affected by fertilization in northern Mexico. J. Range Manage. 49:315-319.

- Rubio, G.; Taboada, M. A.; Lavado, R. S.; Rimski-Korsakov, H. y Zubillaga, M. S. 1997. Acumulación de biomasa, nitrógeno y fósforo en un pastizal natural fertilizado de la Pampa Deprimida, Argentina. *Ciencia del Suelo* 15:48-50.
- Rodríguez, A. M. y Jacobo, E. J. 2012. Manejo de pastizales naturales para una ganadería sustentable en la Pampa Deprimida: buenas prácticas para una ganadería sustentable de pastizal: kit de extensión para las Pampas y campos. Coordinado por Fernando O. Miñarro y Pablo Preliasco. - 1a ed. - Buenos Aires : Fundación. Vida Silvestre Argentina; Aves Argentinas. pp 1-97.
- Rodríguez, A. M. y Jacobo, E. J. 2010. Glyphosate effects on floristic composition and species diversity in the Flooding Pampa grassland (Argentina) *Agriculture, Ecosystems and Environment* 138:222-231.
- Rojas Hernández, S.; Olivares Pérez, J.; Jiménez Guillén, R. y Hernández Castro, E. 2005. Manejo de praderas asociadas de gramíneas y leguminosas para pastoreo en el trópico *Revista Electrónica de Veterinaria*. 6(5): 19 p.
- Sala, O.; Deregibus, V. A.; Schlichter, T. y Alippe, H. 1981a. Productivity Dynamics of a Native Temperate Grassland in Argentina. *Journal of Range Management*. 34(1):48-51.
- Sala, O. E., Perelman, S. B., Soriano, A. 1981b. Relaciones hídricas de algunos componentes de un pastizal de la Depresión del Salado. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 2:1-10.
- Sardi, G. M.; Carbó L. I.; Flores, M. C.; Volpe, S. M.; Neu1, M. V.; Rodríguez, O. D.; Gambín, V. y Herrero, M. A. 2007. Lixiviación de nitratos bajo distintas estrategias de fertilización de forrajeras. Conferencia. Congreso Nacional de Agua, Tucumán, Argentina.
- Satorre, E.H. 2005. Cambios tecnológicos en la agricultura argentina actual. *Ciencia hoy* 15(87):24-31.
- Sbarra, G.; Garcia Espil, A.; Saucedo, M. C. 1995. Intersiembra de *Lotus tenuis* Waldst. En un pastizal de la depresión del salado. Evolución de la implantación. *Revista de la Facultad de Agronomía* 15(1):43-49.
- Scheneiter, O. y Bertín, O. 2011. Alternativas forrajeras para ambientes restrictivos de clima templado húmedo. En informe de actualización técnica n° 22. Producción de forraje en ambientes no agrícolas. Ediciones INTA 1:72.
- Sevilla, G. H. y Fernández, O. N. 1991. Leguminosas forrajeras herbáceas. Emergencia y establecimiento de plántulas. *Revista Argentina de Producción Animal* 11(4):419-429.
- Sevilla, G. H.; Fernández, O. N.; Montes, L. y Miñón, D. P. 1989. Dinámica poblacional de *Lotus tenuis* Waldst. Como integrante de pasturas sembradas. I. Emergencia. *Revista Argentina de Producción Animal*. 9(1):42-43.
- Silveira Martinez, E. D. 2005. Efecto de la fertilización fosfatada sobre la implantación, producción inicial y composición química de *Lotus glaber* mil. y

- Trifolium repens* L. sembradas en cobertura [tesis de grado]. Montevideo, Facultad de Agronomía. 137 p.
- Solbrig, O. T. y Viglizzo, E. F. 1999. Sustainable farming in the Argentine Pampas: history, society, economy and ecology. Paper No. 99/00-1, DRCLAS (Working papers on Latin America), Harvard University, Cambridge, MA, 40 pp.
- Soriano, A.; León, R. J. C.; Sala, O. E.; Lavado, R. S.; Deregibus, V. A.; Cauhépé, M. A. Scaglia, O. A.; Velázquez, C. A. y Lemcoff, J. H. 1991. Temperate subhumid grasslands of South America. En: Natural grasslands. Ecosystems of the world. Coupland, R. T. (editor), Vol 8. Elsevier, Amsterdam. pp. 367-408.
- Stafford, V. 2000. Implementing precision agriculture in the 21st century. Journal of Agricultural Engineering Research. 76:267-275.
- Stoffella, S.; Posse, G. y Collantes, M. 1998. Variabilidad fenotípica y genotípica de poblaciones de *Lotus tenuis* que habitan suelos con distinto pH. Ecología Austral 8:57-63.
- Stratta Fernández, R. y de los Ríos Carmenado, I. 2010. Transformaciones agrícolas y despoblamiento en las comunidades rurales de la Región Pampeana Argentina. En: Estudios Geográficos LXXI (268):235-265.
- Taboada, M. A. y Lavado, R. S. 2009. Alteraciones de la Fertilidad de los Suelos. El halomorfismo, la acidez, el hidromorfismo y las inundaciones. Taboada, M.A. y Lavado, R. S. Eds. Editorial: Facultad Agronomía, Universidad de Buenos Aires. 160 p.
- Van Uffelen, C.; Verhagen, J. y Bouma, J. 1997. Comparison of simulated crop yield patterns for site-specific management. Agricultural Systems 54(2):207-222.
- Vazquez, P.; Costa, J. L.; Monterubbianesi, G. y Godz, P. 2001. Predicción de la productividad primaria de pastizales naturales de la Pampa Deprimida utilizando propiedades del horizonte A. Ciencia del Suelo 19(2):136-143.
- Viglizzo, E. F.; Lértora, F.; Pordomingo, A. J.; Bernardos, J. N.; Roberto, Z. E. y Del Valle, H. 2001. Ecological lessons and applications from one century of low external-input farming in the Pampas of Argentina. Agriculture, ecosystems and environment 83:65-81.
- Wong, V. N. L.; Dalal, R. C.; Greene, R. S. B. 2009. Carbon dynamics of sodic and saline soils following gypsum and organic material additions: a laboratory incubation. Applied Soil Ecology 41:29-40.
- Zanek, C.; Delprino, M. R.; Francescangeli, N. y Uviedo, R. 2015. 50 años de estadísticas agroclimáticas en la estación experimental agropecuaria INTA San Pedro (1965-2014). 1^{er} edición. San Pedro, Buenos Aires. Ediciones INTA 702 p.
- Zarrilli, A. 2008. El proceso de agriculturización en las regiones extrapampeanas argentinas: insostenibilidad y límites de un modelo de transformación. La

provincia del Chaco (1980-2006) Ponencia presentada en: XII Congreso de Historia Agraria Córdoba, Universidad Nacional de Córdoba.

Zubillanga, M. S. y Lavado, R. S 2002. Fertilización fosfatada prolongada y contenido de elementos traza en un Argiudol típico de la Pampa ondulada. Ciencia del suelo 20(2)110-113.

Zhang, N.; Wang, M. y Wang, N. 2002. Precision agriculture. A worldwide overview. Computers and Electronics in Agriculture 36:113-132.

Anexos

Tabla 10: Características edáficas químicas iniciales de cada comunidad.

Comunidad	Suelo	Horizonte	Profundidad m	pH Agua (1:2,5)	CE dS.m ⁻¹	C g.kg ⁻¹	N g.kg ⁻¹	P mg.kg ⁻¹	Ca cmol.kg ⁻¹	Mg cmol.kg ⁻¹	Na cmol.kg ⁻¹	CIC cmol.kg ⁻¹	PSI
Festuca	Argiudol vértico fase hidromórfica	A	0,5-0,31	6,5	0,1	16,3	1,6	1,9	7,9	2,0	0,4	15,1	3
		Btss	0,31-0,60	7,7	0,3	4,9	0,6	3,4	18,2	5,5	3,0	28,9	10
		Bt	0,60-0,80	8,5	0,2	2,6	0,4	1,7	21,8	5,2	3,9	27,7	14
		BCK	>0,80	8,3	0,3	1,1	0,3	0,3	25,7	2,4	2,0	26,3	8
Raigrás- Sporobolus	Natracualf típico	E	0,3-0,24	7,9	0,2	13,2	1,2	3,1	5,9	2,4	5,4	16,7	32
		Btn1	0,24-0,44	9,4	0,7	4,9	0,6	1,7	5,5	5,5	16,3	24,0	68
		Btn2	0,44-0,65	9,7	1,2	2,6	0,4	2,6	6,8	6,7	28,3	32,4	87
		Bckn3	>0,65	9,5	0,9	1,1	0,3	3,1	12,3	5,5	21,1	29,6	71
Agropiro	Natracualf típico fase erosionada	Btkn1	0,2-0,21	9,7	1,0	4,9	0,7	4,2	13,9	4,0	16,6	22,6	73
		BCKn2	>0,21	9,3	0,6	1,5	0,2	1,5	7,9	6,3	14,4	25,7	56

Tabla 11: Características edáficas físicas iniciales de cada comunidad.

Comunidad	Suelo	Horizonte	Profundidad m	PMP %	CC %	CaCO ₃ %	Arcilla %	Arena %	Limo %	Clasificación
Festuca	Argiudol vértico fase hidromórfica	A	0,5-0,31	11,1	23,4	0,0	22,3	12,5	65,2	Franco limoso
		Btss	0,31-0,60	22,2	40,4	0,0	51,4	7,5	41,1	Arcillo limoso
		Bt	0,60-0,80	22,3	43,1	0,0	49,4	8,3	42,3	Arcillo limoso
		BCk	>0,80	16,9	32,1	0,7	30,9	13,5	55,5	Franco arcillo limoso
Raigrás-Sporobolus	Natracualf típico	E	0,3-0,24	8,7	22,3	0,0	17,3	15,0	67,7	Franco limoso
		Btn1	0,24-0,44	20,6	44,3	0,6	37,2	9,6	53,2	Franco arcillo limoso
		Btn2	0,44-0,65	30,9	55,2	0,6	59,3	6,5	34,3	Arcilloso
		Bckn3	>0,65	26,2	48,2	1,0	49,2	9,4	41,4	Arcillo limoso
Agropiro	Natracualf típico fase erosionada	Btkn1	0,2-0,21	20,8	44,9	1,8	35,7	11,8	52,4	Franco arcillo limoso
		BCkn2	>0,21	21,9	41,9	0,5	39,0	9,8	51,2	Franco arcillo limoso

Tabla 12: Calidad de las semillas y densidad de siembra de las especies intersembradas

	Poder germinativo (%)	Pureza (%)	Peso de mil (g)	Valor cultural	kg.ha ⁻¹
<i>Trifolium repens</i> Lam.	78,0	98,9	0,9	77,1	3,5
<i>Lotus tenuis</i> Wald. et Kit	72,0	98,4	1,2	70,9	5,1
<i>Melilotus albus</i> Des. in Lam. (Medik.)	63,0	98,3	1,7	61,9	8,2
<i>Thinopyron ponticum</i> (Podp.) Barworth et Dewey	80,0	93,4	6,5	74,7	24,1